



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Ciências

**UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS  
COMERCIAIS PARA A  
PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE  
MADEIRA DE BAIXA  
DENSIDADE**

**Hélder António Almeida Albuquerque**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**QUÍMICA INDUSTRIAL**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Paulo Jorge da Silva Almeida  
Co-orientador: Prof. Doutora Ana Maria Carreira Lopes

**Covilhã, Outubro de 2010**

# UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS COMERCIAIS PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA DE BAIXA DENSIDADE

*Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre  
em Química Industrial*

**Orientador:**

Professor Doutor Paulo Jorge da Silva Almeida  
Vice-Reitor para o Ensino e Internacionalização e Docente do Departamento de Química da  
Universidade da Beira Interior

**Co-orientadora:**

Professora Doutora Ana Maria Carreira Lopes  
Presidente da Faculdade de Ciências e Docente do Departamento de Química da Universidade  
da Beira Interior

*Dedicado a Cláudia*

"Enquanto suspiramos por uma vida sem dificuldades, devemos lembrar-nos que o carvalho cresce forte através de ventos contrários e que os diamantes são formados sob pressão."

## *Resumo*

Com a evolução dos mercados de painéis produzidos à base de madeira, surgem novos produtos que acompanham essa mesma evolução. Na maioria dos casos são adaptações de produtos já existentes onde novas tecnologias, novos materiais ou novas técnicas de produção permitem conseguir produtos com uma maior especificidade.

Nas últimas décadas, a evolução da tecnologia de produção de painéis de madeira era fomentada em grande parte pela evolução dos meios (maquinaria) disponível no mercado. Desta forma, obtinham-se apenas produtos com fraca diferenciação, optando os fabricantes por apresentar uma gama de apenas três ou quatro produtos, painéis base que posteriormente podem sofrer vários tipos de transformação ou ser aplicados em “cru”. Contudo, nos últimos anos, os principais produtores a nível mundial começaram a apostar na especificidade de produtos, tentando oferecer soluções inovadoras, apresentando produtos mais focalizados para determinadas aplicações, passando grande parte desta inovação pela parte química do produto.

De produtos fortemente vocacionados para a indústria do mobiliário, com densidades médias de 650 a 750 kg/m<sup>3</sup>, passou-se a tentar produzir produtos inovadores de baixa densidade (200 a 400 kg/m<sup>3</sup>) ou produtos de alta densidade (> 1000 kg/m<sup>3</sup>).

Com este trabalho obtiveram-se laboratorialmente painéis de aglomerados de fibra de madeira com uma densidade aproximada de 250 kg/m<sup>3</sup>, com propriedades físico-mecânicas que permitem a possibilidade de uma primeira transformação (melaminizar, folhear ou maquinar) de forma directa.

## *Abstract*

With the development of markets for wood-based panels, new products are emerging following this same evolution. In most cases, they are adaptations of existing products where new technologies, new materials or new production techniques allow you to get products with greater specificity.

In the last decades the development of technology for production of wood-based panels was largely fostered by the evolution of the available means (machinery) in the market. This allowed obtain products with low differentiation between them and the manufacturers choose to present a range of only three or four products, wood-based panels that can subsequently go through various types of processing. However, in recent years the main world producers started to invest in specific products, trying to offer innovative solutions, providing products with higher specialization for certain applications and much of this innovation is in the chemistry of the product.

From products historically devoted to the furniture industry, with average densities between 650 and 750 kg/m<sup>3</sup>, it moved to try to produce innovative products of low density (200-400 kg/m<sup>3</sup>) or products of high density (> 1000 kg/m<sup>3</sup>).

With this work it was obtained wood-based fiber panels with a density about 250 kg/m<sup>3</sup> but with physical and mechanical properties that guarantee the possibility of a primary processing (produce of melamine, veneer or mechanized) in a directly process.

## *AGRADECIMENTOS*

Gostaria de deixar umas palavras de reconhecimento a todos os que de forma directa ou indirecta contribuíram e deram o seu apoio para que o trabalho apresentado nesta dissertação fosse possível.

Aos meus orientadores, Professora Doutora Ana Maria Carreira Lopes e Professor Doutor Paulo Jorge da Silva Almeida pela atenção e disponibilidade manifestadas no decurso deste trabalho.

Aos colegas de trabalho por toda a colaboração e apoio manifestados a longo da execução de esta investigação.

Ao Grupo Finsa, especialmente à Luso Finsa e Bresfor pelos meios disponibilizados e todo o apoio dado.

A minha família, pelo incentivo, pela compreensão, pelo apoio e que foi determinante para a conclusão de este trabalho.

## Índice

1 - Introdução	1
2 - A produção de painéis de aglomerados de madeira	2
2.1- História e situação sócio-económica da empresa Luso Finsa	2
2.2 - Breve descrição do processo produtivo	5
2.2.1- Produção de painéis de aglomerado de partículas de madeira	5
2.2.2- Produção de painéis de aglomerado de fibras de madeira	11
2.2.3- Principais colas utilizadas no processo de produção de painéis de madeira	18
2.2.3.1 - Resinas de ureia formaldeído	18
2.2.3.2 - Resinas de formaldeído melamina	21
2.2.3.3 - Resinas de fenol-formaldeído	22
2.2.3.4 - Resinas de isocianatos	23
2.2.4- Principais desenvolvimentos de painéis de baixa densidade	24
2.2.4.1 - Painel com favos no seu interior	24
2.2.4.2 - Painel perfurado	25
2.2.4.3 - Painel de mdf de baixa densidade	26
2.3 - Polímeros com aplicabilidade na indústria da madeira	28
2.3.1 - Introdução	28
2.3.2 - Polímeros que formam espumas	29
2.3.2.1 - Poliestireno	29
2.3.2.2 - Poliuretanos	31
3 - Parte experimental	34
3.1 - Descrição do método operativo	34
3.2 - Descrição dos métodos de análise	36
4 - Apresentação e discussão de resultados	38
4.1- Adição de poliestireno	38
4.2 - Adição de resina de metildifenildiisocianato	45
4.3- Discussão de resultados	61
4.3.1 - Comparação de propriedades físico-mecânicas	61
4.3.2 - Breve estimativa do custo	64
5 - Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	65

Referencias Bibliográficas	66
ANEXOS	68
I - Ficha técnica da resina FU-1092	
II - Ficha de segurança do MDI	
III - Ficha técnica de Fibrapan	

<i>Índice de Figuras</i>	<i>Pag.</i>
<b>Fig. 1</b> - Distribuição das fábricas e delegações comerciais do grupo Finsa	2
<b>Fig. 2</b> - Fluxograma de produção de painéis de aglomerado de partículas (1ª parte)	8
<b>Fig. 3</b> - Fluxograma de produção de painéis de aglomerado de partículas (2ª parte)	9
<b>Fig. 4</b> - Fluxograma de produção de painéis de aglomerado de partículas (versão esquemática reduzida)	10
<b>Fig. 5</b> - Fluxograma de produção de painéis de aglomerado de fibras (1ª parte)	16
<b>Fig. 6</b> - Fluxograma de produção de painéis de aglomerado de fibras (2ª parte)	17
<b>Fig. 7</b> - Esquema da reacção de uma cola UF	18
<b>Fig. 8</b> - Esquema representativo da formação de colas UF com compostos intermédios	19
<b>Fig. 9</b> - Esquema representativo da evolução da viscosidade no tempo, a temperatura constante	20
<b>Fig. 10</b> - Reacção de uma resina FM	21
<b>Fig. 11</b> - Reacção de uma cola Fenol Formaldeído	22
<b>Fig. 12</b> - Reticulação de uma cola Fenol Formaldeído	23
<b>Fig. 13</b> -MDI e polímero formado.	23
<b>Fig. 14</b> - Foto de um painel com favos em MDF de 3mm de espessura	25
<b>Fig. 15</b> - Foto de um painel com favos em cartão	25
<b>Fig. 16</b> - Foto de um painel perfurado	26
<b>Fig. 17</b> - Foto de um painel de MDF com uma densidade de 300 kg/m <sup>3</sup> - fabricante Finsa	27
<b>Fig. 18</b> - Foto de um painel de MDF com uma densidade de 250 kg/m <sup>3</sup> - fabricante Glunz	27
<b>Fig. 19</b> - Fórmula estrutural da cadeia de poliestireno	30
<b>Fig. 20</b> - Formação de poliestireno	30
<b>Fig. 21</b> - Exemplo típico de reacção de formação de poliuretano	32
<b>Fig. 22</b> - Esquema representativo de uma espuma polimérica de célula aberta (a) e de uma espuma polimérica de célula fechada	33
<b>Fig. 23</b> - Fotografia geral da zona experimental do laboratório	34
<b>Fig. 24</b> - Fotografia da prensa laboratorial	35
<b>Fig. 25</b> - - Fotografias da encoladora laboratorial	36
<b>Fig. 26</b> - Perfil de densidade do painel padrão, ensaio A (P1)	40
<b>Fig. 27</b> - Perfil de densidade do ensaio B	42
<b>Fig. 28</b> - Perfil de densidade do ensaio C	44
<b>Fig. 29</b> - Perfil de densidade do ensaio D	47
<b>Fig. 30</b> - Perfil de densidade do ensaio E	48
<b>Fig. 31</b> - Perfil de densidade do ensaio F	50

<b>Fig. 32</b> - Perfil de densidade do ensaio G	52
<b>Fig. 33</b> - Perfil de densidade do ensaio H	54
<b>Fig. 34</b> - Perfil de densidade do ensaio I	56
<b>Fig. 35</b> - Perfil de densidade do ensaio J	58
<b>Fig. 36</b> - Perfil de densidade do ensaio L	60

<i>Índice de Gráficos</i>	<i>Pag.</i>
<b>Gráf. 4.1</b> - Valores de tracção obtidos nos diversos ensaios	61
<b>Gráf. 4.2</b> - Valores de inchamento obtidos nos diversos ensaios	62
<b>Gráf. 4.3</b> - Valores de absorção obtidos nos diversos ensaios	63

<b>Tab. 2.1</b> - Dados técnicos das principais propriedades físico-mecânicas de painel com favos no seu interior - FINSA GREENPANEL (adaptado do fabricante Finsa)	24
<b>Tab. 2.2</b> - Dados técnicos das principais propriedades físico--mecânicas de painel de MDF com uma densidade de 300 kg/m <sup>3</sup> -Iberpan 300 (adaptado do fabricante FINSA)	26
<b>Tab. 2.3</b> - Algumas características das reacções de adição e de condensação	28
<b>Tab. 4.1</b> - Relação de materiais utilizados para a preparação do ensaio A	39
<b>Tab. 4.2</b> - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas do ensaio A	40
<b>Tab. 4.3</b> - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de poliestireno	41
<b>Tab. 4.4</b> - Dados gerais e propriedades físico-mecanicas de um painel com 4% de poliestireno	42
<b>Tab. 4.5</b> - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de poliestireno e humidade de 25%, ensaio C	43
<b>Tab. 4.6</b> - Dados gerais e propriedades físico-mecanicas de um painel com 4% de poliestireno e humidade de 25%, ensaio C	44
<b>Tab. 4.7</b> - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 2% de MDI, ensaio D	45
<b>Tab. 4.8</b> - Dados gerais e propriedades físico-mecanicas de um painel com 2% de MDI, ensaio D	46
<b>Tab. 4.9</b> - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de MDI, ensaio E	47
<b>Tab. 4.10</b> - Dados gerais e propriedades físico-mecanicas de um painel com 4% de MDI, ensaio E	48
<b>Tab. 4.11</b> - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 6% de MDI, ensaio F	49
<b>Tab. 4.12</b> - Dados gerais e propriedades físico-mecanicas de um painel com 6% de MDI, ensaio F	50
<b>Tab. 4.13</b> - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de MDI, ensaio G	51
<b>Tab. 4.14</b> - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 4% de MDI, ensaio G	52
<b>Tab. 4.15</b> - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de MDI e 5% de FU-1092, ensaio H	53
<b>Tab. 4.16</b> - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 4% de MDI e 5% de FU-1092, ensaio H	54
<b>Tab. 4.17</b> - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de MDI e 8% de FU-1092, ensaio I	55

<b>Tab. 4.18</b> - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 4% de MDI e 8% de FU-1092, ensaio I	56
<b>Tab. 4.19</b> - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de MDI e 11% de FU-1092, ensaio J	57
<b>Tab. 4.20</b> - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 4% de MDI e 11% de FU-1092, ensaio J	58
<b>Tab. 4.21</b> - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 8% de MDI, ensaio L	58
<b>Tab. 4.22</b> - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 8% de MDI, ensaio L	59
<b>Tab. 4.23</b> - Comparação de custos de matérias primas entre os ensaios considerados Viáveis e o material padrão	63

## *Índice de Acrónimos*

Agl - painéis de aglomerado de partículas de madeira

EPS - poliestireno expandido

MDF - painéis de aglomerado de fibras de madeira, *medium density fiberboard*

MDI - metil difenil diisocianato

OSB - *oriented straight board*

PUE - poliuretanos

PS - poliestireno

Resina FU - resina de formaldeído ureia, quando misturada com catalisador origina cola de formaldeído ureia

Resina FM - resina de formaldeído melamina, quando misturada com catalisador origina cola de formaldeído melamina

## 1 - INTRODUÇÃO

A produção de painéis de aglomerados de madeira de baixa densidade, de 200 a 400 kg/m<sup>3</sup>, sofreu um forte desenvolvimento nos últimos anos, em parte devido ao mercado ter evoluído para a produção de mobiliário de elevada espessura, onde se por um lado se queria evitar os inconvenientes do peso elevado desse mesmo material, por outro lado, a própria crise que se faz sentir a nível global levou os produtores destes materiais a tentarem ocupar outros nichos de mercado. Esta nova oportunidade aumenta a procura de produtos alternativos com um peso semelhante, ou pelo menos dentro de um intervalo aceitável, mas com preços mais competitivos quando comparados com produtos oriundos de outras indústrias, especialmente a química.

Assim, o objectivo deste trabalho foi o de desenvolver um novo tipo de painel de aglomerado de madeira de baixa densidade, mas que possuísse propriedades físico-mecânicas adequadas que permitissem aplicações directas deste tipo de painéis nos processos da indústria de transformação de madeira, chamados de “2ª transformação”.

Uma vez que o trabalho experimental foi desenvolvido na empresa Luso Finsa, no segundo capítulo apresentaremos a empresa, patrocinadora do trabalho, e onde foi recolhida a fibra de madeira para os ensaios laboratoriais. Far-se-á também, um resumo dos processos produtivos a nível industrial dos painéis em estudo, das colas mais utilizadas e dos produtos de baixa densidade desenvolvidos nos últimos anos. Também se abordarão os principais produtos que irão ser alvo de investigação.

No terceiro capítulo será feita a descrição dos ensaios laboratoriais bem como uma descrição dos métodos de análise mais utilizados para caracterizar os produtos obtidos.

No capítulo quarto faremos a apresentação e discussão dos resultados obtidos. Uma discussão mais aprofundada, bem como uma comparação entre os materiais desenvolvidos pelas diferentes técnicas usadas serão feitas no final do capítulo.

No quinto capítulo serão apresentadas as principais conclusões obtidas neste trabalho.

## 2 - A PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE AGLOMERADOS DE MADEIRA

### 2.1 - HISTÓRIA E SITUALIZAÇÃO SOCIO-ECONÓMICA DA EMPRESA LUSO FINSA

Dado que o trabalho foi feito em parceria com a empresa Luso Finsa S.A., faremos uma descrição da empresa e do grupo em que se insere, de modo a dar uma ideia da sua dimensão e da sua evolução ao longo do tempo.

A Luso Finsa S.A. é uma empresa dedicada a produção de madeiras industriais, sediada em Nelas, tendo capacidade de produzir uma ampla gama de produtos, nomeadamente painéis de aglomerados de fibra de madeira, vulgo MDF, *medium density fiberboard*, painéis de aglomerado de partículas de madeira, ou simplesmente aglomerado, painéis revestidos com folhas de melamina, plastificados ou melaminizados, painéis revestidos com folha de madeira natural (folheados), molduras, painéis perfilados e ripas de qualquer dos produtos acima mencionados.

As instalações da Luso Finsa S.A., apresentam uma área total de aproximadamente 240.000 m<sup>2</sup>, dos quais 57.434m<sup>2</sup> correspondem à área coberta e 183.253 m<sup>2</sup> à área descoberta.

A empresa faz parte do grupo Finsa, sediado em Espanha, mais concretamente na Galiza. As fábricas de produção estão situadas em Espanha, Portugal, França, Irlanda, África do Sul e Estados Unidos (Fig. 1).



Fig.1 - Distribuição das fábricas e delegações comerciais do grupo Finsa

A FINSA é o fabricante de painéis de aglomerado e de MDF mais antigo na Península Ibérica. A empresa foi fundada em 1931 como uma serração de madeira, mantendo um crescimento sustentável até hoje. Actualmente, a FINSA engloba 22 fábricas, nas quais se produzem uma ampla variedade de produtos derivados de madeira. Os investimentos de FINSA nos últimos anos têm-se centrado na modernização das instalações fabris e no desenvolvimento de novos produtos de valor acrescentado: painéis revestidos com melamina ou chapa natural, folheado, contraplacados, molduras, papel impregnado, módulos de cozinha, componentes para móveis, chão flutuante, etc.

De maneira a fazer o enquadramento do objectivo deste trabalho com a evolução dos marcos e da própria empresa, passa-se a descrever o historial resumido da Luso Finsa S.A.

Assim, no início dos anos 80, surge em Portugal uma situação de maior potencial económico, devido essencialmente à entrada na Comunidade Económica Europeia, a fundos estruturais e à estabilidade política. Apesar de, nesta altura, existir na indústria das madeiras uma convulsão com compra e venda de várias empresas, a FINSA decide entrar no país pelo seu próprio pé, rejeitando algumas propostas de oferta de companhias, fundando uma empresa destinada a comprar madeira para abastecer as fábricas situadas na Galiza. A sua sede era no Porto e chamava-se Madibéria.

Na segunda metade dos anos 80, a FINSA decide apostar no mercado nacional, devido ao seu potencial, à sua proximidade, uma vez que a sua sede se situa na Galiza, e ao desenvolvimento importante, sendo por isso considerado um mercado natural da empresa. É decidido nessa altura montar uma nova fábrica em Nelas, para produção de painéis de aglomerado de fibras de madeira. Este projecto era uma parceria entre a FINSA e a TAFISA (Sonae Industria), aproveitando a empresa já existente, a Madibéria, e criando uma sociedade comercial denominada Luso Finsa, e sediada no Porto.

Em 1986 é terminada a elaboração do projecto industrial e económico e iniciam-se os contactos com o Estado Português para avançar com o projecto. No segundo semestre de 1987 dá-se início à obra civil. No final do primeiro semestre de 1988 é concluída a instalação da maquinaria, arrancando-se com os diversos sectores da linha e subsidiários a esta, nomeadamente estilhado, refino, secado, formação e prensa. Em Junho do mesmo ano obtém-se o primeiro painel de fibra produzido na Europa com uma prensa de injeção de vapor.

No fim de Dezembro de 1990, a FINSA compra a quota da TAFISA e assume a gestão integral da empresa. Um maior conhecimento do processo e um maior controlo tecnológico permitem mitigar alguns dos problemas que afectavam a empresa.

Em 1992 e 1993, apesar da crise económica no sector, a empresa apresenta uma rentabilidade muito boa. Consolida-se o controlo tecnológico, desenvolve-se e potencializa-se o produto MDF de elevada espessura.

Em 1994 monta-se uma co-geração, com capacidade de produção de 12 MW de energia eléctrica e aproveitando-se os gases para secagem de fibra, e amplia-se o secador convertendo-se num secador de 2 etapas, resolvendo diversos problemas tecnológicos e incrementando a capacidade produtiva.

Em 1995 a empresa é reconhecida, pelos meios económicos, como a melhor e a mais rentável do sector em Portugal. É decidido pela empresa a montagem de uma linha para produção de painéis de aglomerado de partículas de madeira, vulgo aglomerado, com a consequente ampliação de naves e armazém.

Em Abril de 1996, a linha de aglomerado é considerada operacional. No final do ano começa a produzir uma linha de produção de painéis melaminizados e uma linha de produção de molduras.

Em 2005 é comprada a empresa Jomar, uma empresa histórica e de referência para o sector em Portugal.

Os últimos anos, a empresa caracteriza-se pela consolidação da qualidade e por uma aposta forte na procura e desenvolvimento de novos produtos.

## 2.2- BREVE DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

De seguida apresenta-se o processo produtivo à escala industrial dos produtos em estudo, já que o processo laboratorial tenta seguir a mesma metodologia.

### 2.2.1- PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE AGLOMERADO DE PARTÍCULAS DE MADEIRA

A produção de painéis de aglomerado de partículas, (vulgo, aglomerado) na Luso Finsa, está apresentada de forma esquemática nas Fig. 2 a 4. O processo de fabricação compreende várias fases, nomeadamente:

- Recepção e classificação de madeiras

Todo o processo de fabrico tem início no parque de madeiras. A totalidade da madeira é recepcionada (passos 1, 2 e 3, Fig. 2), separada mediante critérios de qualidade, sendo uma parte da madeira destinada a produção de MDF e outra destinada a produção de painéis de aglomerado.

Os tipos de madeira utilizados na produção de aglomerado são maioritariamente pinho, rolaria e subprodutos de serrações, eucalipto, diversas como todo e qualquer tipo de material lenhoso e serrim.

Toda a rolaria de pinho passa por um tambor de dimensão considerável onde a madeira é descascada de forma mecânica (passo 4, Fig. 2). A restante madeira é alimentada por um outro transporte, sendo toda a madeira estilhada de seguida (passo 5, Fig. 2), processo que reduz os troncos de madeira a partículas de dimensão pequena, aproximadamente com um tamanho de 4-6 cm.

O serrim, uma vez que já apresenta a granulometria adequada, passa por diversos estágios de limpeza (passo 14, Fig. 2) entrando de seguida no secador (passo 18, Fig. 2).

A estilha sofre numa 1ª fase uma classificação granulométrica (passo 8, Fig. 2), separando-se 3 fracções. O material mais grosso é refinado num moinho de martelos (passo 10, Fig. 2), voltando ao processo, onde a estilha com granulometria adequada segue para moinhos de lâminas (passo 12, Fig. 2), enquanto que o material fino é rejeitado devido essencialmente à enorme quantidade de inertes que tem associado, sendo valorizado energeticamente nas caldeiras de biomassa.

Nos moinhos de martelos a estilha é reduzida a partículas muito pequenas, denominadas por aparas ou viruta, que de seguida entram no secador juntamente com o serrim.

- Secagem e classificação

O doseamento destes materiais é feito através de balanças, onde as proporções do material variam conforme o painel a fabricar e de acordo com as necessidades de capa externa ou capa interna. O material é seco em co-corrente com gases quentes provenientes da queima de pó de madeira, resultante maioritariamente do processo de lixagem, sendo separado num ciclone.

Depois de seco, o material é de novo classificado granulometricamente (passos 20 e 21, Fig. 2) obtendo-se 4 fracções, material demasiado grosso para o processo e que é moído de novo (passo 22, Fig. 2), material com granulometria adequada para capa média (passo 23, Fig. 2), material com granulometria adequada para capa externa (passo 24, Fig. 2), e material fino que é valorizado energeticamente.

- Encolagem e formação

O passo seguinte é a encolagem (passo 27, Fig. 3). Esta é completamente automatizada, sendo controlada por um programa informático que dosifica a cola consoante o volume de madeira utilizado na linha de formação.

A mistura da madeira com a cola é efectuada na encoladora (passo 28, Fig. 3). Nesta podemos distinguir quatro zonas. A primeira zona, de entrada de material, possui um eixo central longitudinal, com pás misturadoras que fazem avançar o material no seu interior. A segunda zona, zona de encolado, possui injectores colocados nas paredes, através dos quais são injectadas a cola, a água, e no caso da capa interna também o catalisador e os outros compostos químicos. Numa terceira zona, zona de mistura, o número e o desenho das pás obriga a uma mistura mais profunda, existindo por último uma quarta zona onde o material sofre uma retenção para que a repartição de cola seja mais eficaz.

De seguida, o material segue para a misturadora, que difere da encoladora pelo facto de não possuir adição de cola. A sua função é apenas prolongar o tempo de mistura do material encolado para uma melhor homogeneização do mesmo.

Este material encolado, capa interna (c.i.) por um lado e capa externa (c.e.) por outro, alimentam as respectivas formadoras, as quais formam um material tri-capa com c.e. superior e inferior e no meio a c.i., denominado por manta ou colchão (passo 29, Fig. 3).

A manta sofre um primeiro processo de compactação denominado pré-prensagem (passo 31, Fig. 3). Para além da compactação do material pretende-se retirar o ar no interior da manta.

- Prensagem e acabado

Neste passo um sistema corta a manta no tamanho do painel pretendido (passo 32, Fig. 3) e esta passa para um armazém, denominado pré-carregador, o qual acumula 6 mantas. Neste ponto as 6 mantas são transferidas para o carro que insere as mantas na prensa, denominado carregador, o qual no movimento de avanço expulsa os painéis já produzidos e no movimento de retrocesso descarrega as 6 mantas na prensa (passo 35, Fig. 3). De seguida, a prensa fecha e efectua o ciclo de prensagem (passo 36 e 37, Fig. 3).

Posteriormente, o painel que saiu da prensa passa por uma fase de arrefecimento, já que o painel é prensado a uma temperatura bastante elevada (passo 39, Fig. 3).

Por fim, o painel passa para o acabado. Este consiste no processo de lixagem, utilizando uma lixadora com quatro cabeçais, rolos onde a lixa está em contacto com a superfície do painel, onde será calibrado (passo 40, Fig. 3). A calibração é feita nos dois primeiros cabeçais que utilizam lixas de grão grosso com a intenção de cortar uma parte muito significativa da superfície a retirar. De seguida o painel é polido, no terceiro e quarto cabeçais, onde se utilizam lixas de grão fino com a finalidade de deixar a superfície lisa e isenta de defeitos, (passo 41 Fig. 3) e cortado na medida pedida pelos clientes internos, linhas de transformação, ou externos.

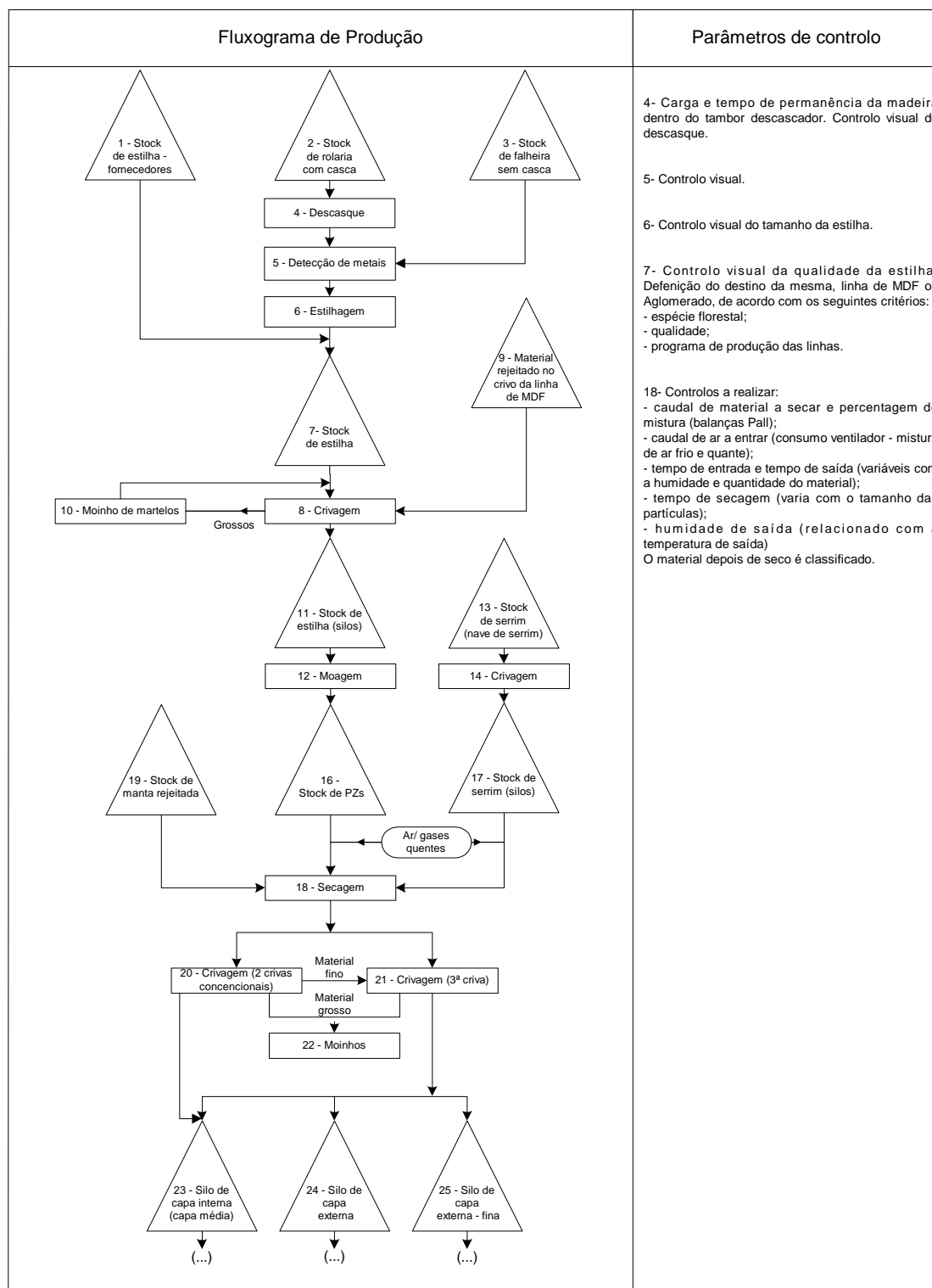


Fig.2 - Fluxograma de produção de painéis de aglomerado de partículas

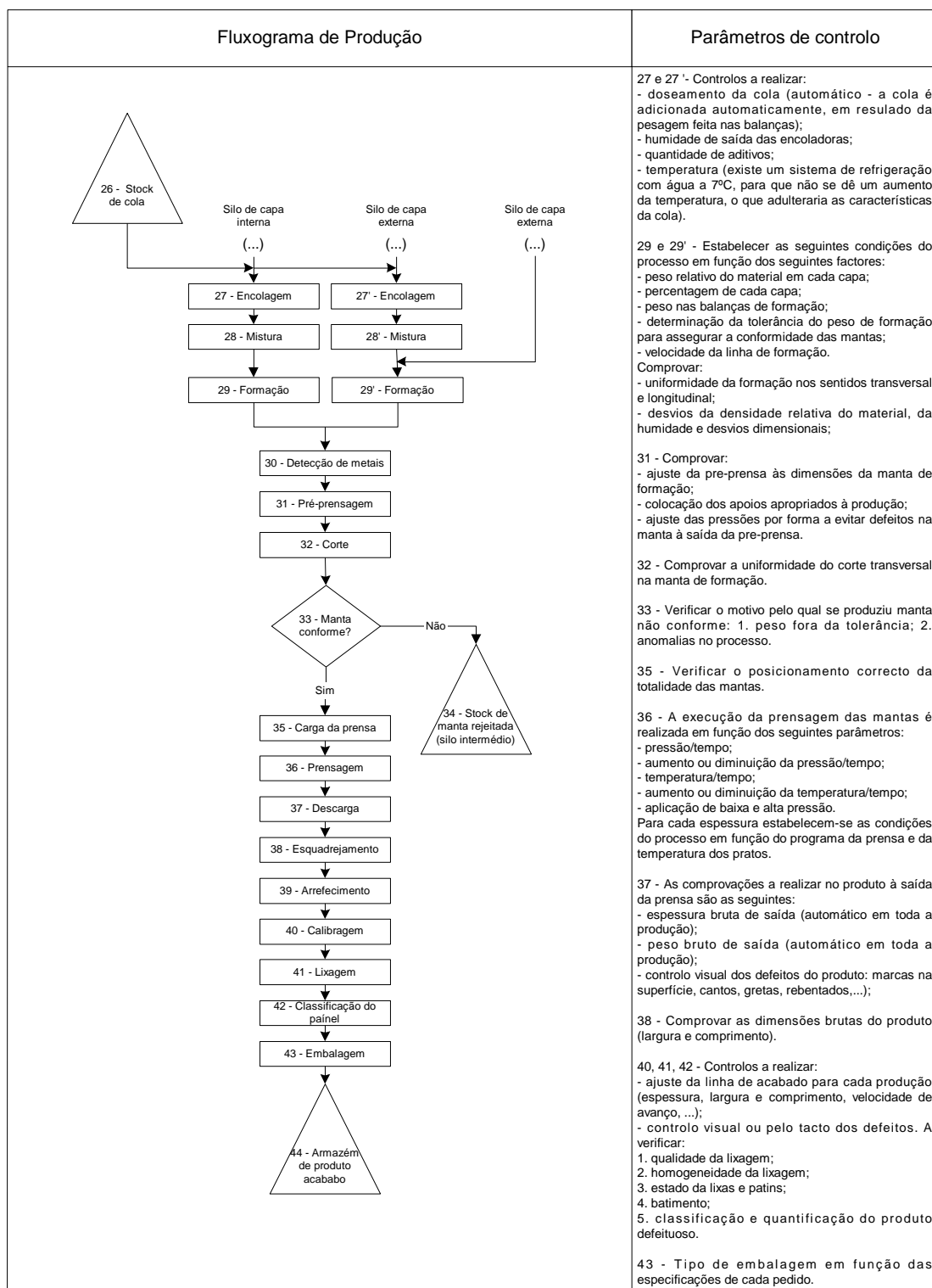


Fig.3 - Fluxograma de produção de painéis de aglomerado de partículas (continuação)

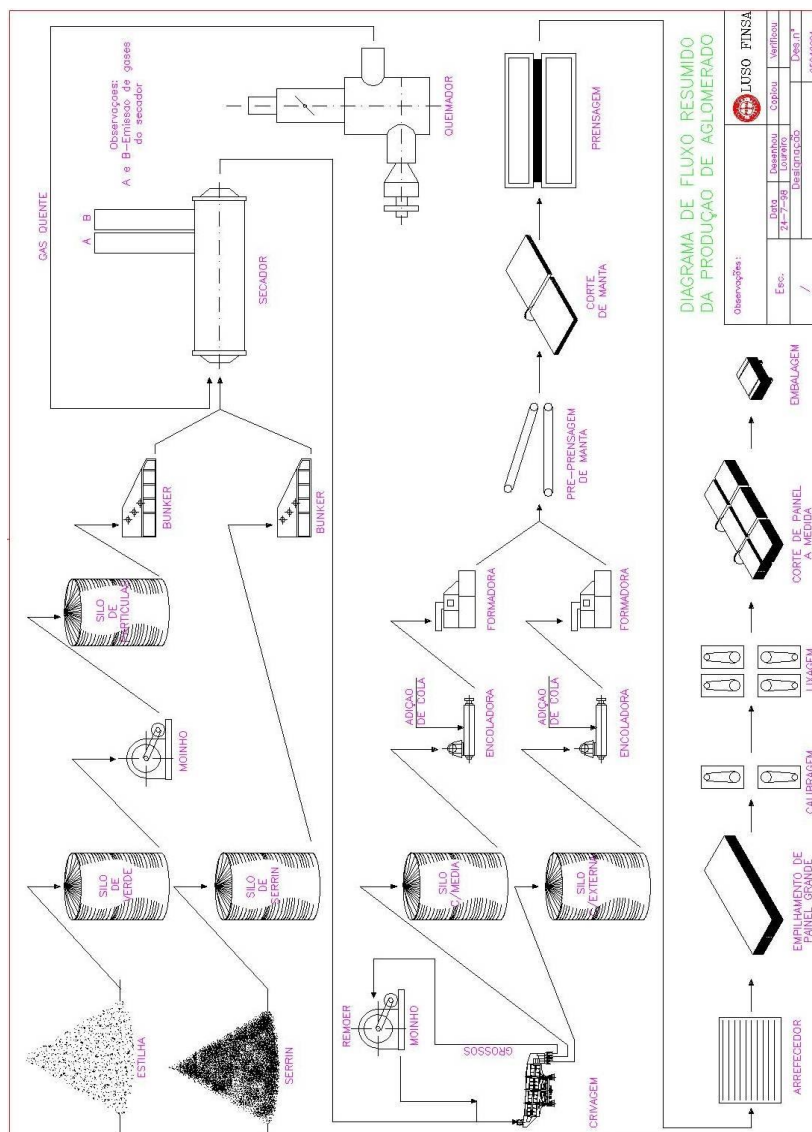


Fig.4 - Fluxograma de produção de painéis de aglomerado de partículas (versão esquemática reduzida)

## 2.2.2- PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE AGLOMERADO DE FIBRAS DE MADEIRA

Da produção de painéis de aglomerado de fibras de madeira (vulgo, MDF) na Luso Finsa, resulta um produto com elevados parâmetros de qualidade, sendo a maioria da produção exportada. Das fases do processo de fabricação destacam-se as descritas com mais pormenor em seguida:

### - Recepção e classificação da madeira

Tal como no caso do aglomerado, o processo de fabrico tem início no parque de madeiras com a selecção da madeira. A madeira utilizada é somente de pinho. A rolaria tem que ser descascada (passo 4, Fig. 5), sendo transportada até ao tambor descascador, onde lhe é retirada a casca por acção mecânica. O nível de descasque deve ser o mais adequado, retirando-se o máximo de casca com o mínimo de desperdício de madeira, pois a presença de casca provoca problemas na homogeneidade da cor das superfícies do produto acabado, com a consequente diminuição da qualidade do produto.

Depois de retirada a casca a madeira tem que ser estilhada (passo 6, Fig. 5). O processo de estilhagem consiste no fraccionamento da madeira, com o fim de se obter a estilha de madeira, que constitui o material base para a obtenção da fibra de madeira utilizada para o processo de fabrico de MDF.

A estilha é produzida a partir de falheira e da rolaria descascada. O tamanho da estilha é controlado visualmente junto à máquina, e mais exactamente, em contínuo, na área de classificação de estilha através de um processo de crivagem (passo 8, Fig. 5). Assim, a estilha demasiado grossa é de novo estilhada, desta vez num moinho de martelos, e o material demasiado fino será valorizada energeticamente nas caldeiras de biomassa.

Da qualidade da madeira, grau de humidade, tamanho da estilha e boa homogeneização da mistura depende, em grande parte, a estabilidade dos processos de digestão, desfibrção, secagem e também a uniformidade da cor, assim como as características fisico-mecânicas do produto acabado.

A estilha é crivada num crivo vibrante, onde se obtêm as três fracções já referidas anteriormente, nomeadamente material grosso, material fino e material com granulometria adequada ao processo de fabrico. Esta última fracção sofre, de seguida, um processo de limpeza por lavagem, mediante um processo de imersão em água (passo 9, Fig. 5). Mediante esta lavagem, as partículas mais pesadas são separadas por decantação, conseguindo-se a eliminação ou pelo menos uma forte redução de um dos factores que mais influência tem na

qualidade do painel, a abrasividade, originada pela presença de areias, contribuindo também para uma maior duração dos equipamentos cortantes, por exemplo dos discos de refino.

- Refino

O processo de refino engloba 3 etapas, nomeadamente a compressão da estilha, o seu cozimento e por fim a desfibração da madeira.

Na compressão de estilha (passo 11, Fig. 5), esta, depois de lavada, é transportada para uma tremonha onde, se necessário, pode ser submetida a um processo de aquecimento prévio, com vapor a baixa pressão, a fim de se conseguir um amolecimento da estilha e facilitar assim, o seu posterior cozimento. A partir desta tremonha, a estilha entra num parafuso cónico (sem-fim), cujas funções são a de transporte da estilha ao digestor e principalmente a expressão por compressão gradual, desde a sua entrada no parafuso até à entrada no digestor, de modo a reduzir o teor de água na estilha antes da fase de cozimento. A camisa do parafuso é perfurada de forma a permitir a evacuação da água.

O cozimento (passo 12, Fig. 5) é feito no digestor, um compartimento fechado com cerca de 3,5 m<sup>3</sup> de volume interior útil, no qual se introduz a estilha, que é submetida a uma pressão de vapor de aproximadamente 11 bar.

O tempo de permanência da madeira no digestor varia com o nível de enchimento e com o caudal da estilha. É aqui que se dá a solvabilidade parcial que altera as propriedades das fibras e, por conseguinte, facilita a posterior desfibração mecânica. A estilha fortemente comprimida no parafuso cónico sofre um processo de expansão, ao ser libertada no digestor, facilitando assim a penetração do vapor e o cozimento homogéneo entre o exterior e o interior do pedaço de estilha.

A regularidade do tamanho da estilha, o controlo sobre as condições do processo, a pressão, a temperatura e o tempo de residência constituem os parâmetros básicos para se obter um cozimento correcto. A uniformidade do cozimento é de especial importância para a qualidade, a quantidade e a cor das fibras obtidas. O sistema é controlado automaticamente mediante as condições de pressão especificadas.

A partir do digestor a estilha é conduzida sobre pressão, por meio de parafusos sem-fim, até ao desfibrador.

A produção de fibra de madeira é conseguida no processo de desfibração (passo 15, Fig. 5), ao introduzir a estilha de madeira cozida no desfibrador, constituído por um conjunto de dois discos, um fixo (stator) e um que roda a velocidade constante (rotor). Mediante a fricção destes com a estilha, obtém-se a separação das fibras que saem por meio de força centrífuga dos discos e da pressão de vapor que existe no sistema, sendo o tamanho regulado com a abertura entre os discos. Desta forma pretende-se que a fibra seja homogénea, evitando-se uma fibra demasiado grossa ou pó.

A encolagem e secagem inicia-se com a fibra de madeira que sai da caixa de discos por duas linhas, *blow lines*, que irão fornecer o material separadamente, para se fazer a camada interna e a camada externa, superior e inferior, do produto acabado. É aqui que se faz a separação entre a camada interna e externa assim como a respectiva encolagem (passo 17, Fig. 5).

A preparação de cola faz-se através da adição de resinas à base de formaldeído e ureia (resinas UF) ou resinas formaldeído ureia e melamina (FM), utilizando como catalisador o sulfato de amónio. Adicionam-se também neste ponto outros compostos químicos como captadores de formol, estabilizantes, ignifugantes, entre outros, e água, ou outros reagentes químicos para ajustar a viscosidade da mistura ou o teor de sólidos. O doseamento de cola é feito de forma automática em função do peso de fibra seca. A encolagem é feita na *blow line* devido à elevada turbulência com que a fibra passa nesta linha, garantindo uma boa distribuição da cola na fibra e evitando a formação de grumos, isto é emplastros produzidos por concentrações pontuais da cola na mistura e que podem originar manchas ou outros defeitos no painel.

As *blow lines*, capa externa e capa média, injectam a fibra no secador. Os secadores são do tipo *flash* onde a fibra é seca em co-corrente com ar e gases quentes (passo 18, Fig. 5).

Na capa média, as fibras encoladas misturam-se com uma corrente de gases quentes, provenientes dos motores da cogeração, gases das caldeiras de biomassa e, quando necessário, ar quente aquecido num permutador de calor de óleo térmico/ar ambiente. A mistura de gases e a fibra com cola percorrem a primeira etapa de secagem, separando-se os gases da fibra num primeiro ciclone, que descarrega a fibra na segunda etapa de secagem, na qual a fibra é acompanhada por ar quente, com temperaturas mais baixas que na primeira etapa, proveniente de um dos dispositivos anteriormente referidos. Percorrida esta segunda etapa, o ar separa-se da fibra já seca num ciclone (passo 19, Fig. 5), que descarrega a fibra num sistema de passadeiras, uma das quais é uma balança (passo 20, Fig. 5). Esta balança tem uma célula de carga, que permite medir o caudal instantâneo da mistura, da fibra seca e da cola. Este sinal de peso é transmitido para a sala de controlo, de modo a permitir o controlo em automático da dosificação de cola.

No caso da capa externa, as fibras com cola misturam-se com uma corrente de ar quente, proveniente de um dos dispositivos de permuta de óleo térmico/ar ambiente, misturado com uma corrente constituída por gases de combustão provenientes das caldeiras de biomassa, os quais passam conjuntamente pelo secador, neste caso de única etapa, separando-se a fibra da mistura de gases/ar num ciclone, que tal como no caso da capa

média, descarrega a fibra sobre um sistema de passadeiras, uma das quais é uma balança, que dá o caudal instantâneo da mistura de fibra e cola produzida para a capa externa.

À saída das balanças de cada capa, existem dispositivos que permitem eliminar os grumos de cola ou partículas estranhas (passo 21, Fig. 5), que poderão acompanhar a fibra e causar um aspecto indesejável no painel, especialmente na sua superfície, sendo depois armazenada nos silos correspondentes (passo 22, Fig. 6).

#### - Formação

A partir dos silos de material seco de cada capa, a fibra é transportada pneumáticamente para as formadoras correspondentes. As formadoras servem para distribuir homogeneamente a fibra em toda a largura da formação, sendo a fibra lançada das formadoras para a linha de formação, cuja velocidade depende do tipo de painel que se está a fabricar, constituindo-se assim uma camada contínua de fibra, que é pesada imediatamente a seguir a cada formadora. Em função da densidade do painel em fabrico, e por conseguinte do peso necessário nas balanças de formação, e da respectiva percentagem de capas, as formadoras são controladas automaticamente, lançando mais ou menos fibra sobre a linha de formação. À saída de cada formadora existem rolos niveladores, *scalpers*, que regulam a altura da manta, sendo o excesso de fibra, recirculado para o silo da capa correspondente (passos 25 e 26, Fig. 6).

A formação da manta realiza-se em 3 fases, constituindo-se em primeiro lugar a capa externa inferior, comandada por uma balança. Seguidamente, forma-se a capa média, a qual está regulada à saída por outra balança, que controla o peso doseado por esta segunda formadora, somando-o ao peso da capa anterior. Finalmente, uma terceira formadora forma a capa externa superior, regulada à saída por uma terceira balança. O controlo desta última far-se-á através das diferenças de pesos das duas anteriores.

A seguir à fase de formação da manta e para se conseguir que esta fique compacta, de forma a transportá-la ao longo da linha de formação, está instalada uma pré-prensa, que reduz a espessura da manta em 60% (passo 27, Fig. 6), eliminando do seu interior uma parte do ar, que ficou obstruído no seu interior durante a formação.

Depois do material pré-prensado existem duas serras longitudinais que cortam os bordos da manta (corte em comprimento) garantindo a largura útil da manta. Depois faz-se o corte transversal da manta, ficando esta com a medida da prensa (passo 29, Fig. 6).

#### - Prensagem

A prensa de fibra utilizada na Luso Finsa apresenta uma particularidade, que é a de injectar vapor quando faz a prensagem. Isto permite uma transmissão de calor ao centro do painel muito rápida, polimerizando a cola de forma rápida e eficaz. É uma prensa mono-piso

com controlo do calor dos pratos, da pressão de vapor injectado, da espessura do painel e de vácuo (passo 32, Fig. 6).

Os programas da prensa estão memorizados no microprocessador (PLC) da prensa, constando de 30 passos. O programa é definido nas especificações do processo, ficando este programa memorizado para futuros fabricos do mesmo tipo de painel. As variações oportunas efectuar-se-ão, segundo as necessidades do momento, sob autorização do chefe de turno.

À saída da prensa o painel é arrefecido num dispositivo de arrefecimento giratório com capacidade para 27 painéis (passo 33, Fig. 6), com o objectivo de melhorar a uniformidade da espessura, evitar pós-cura ou hidrolização da cola e efeitos de empeno. De seguida o painel é calibrado (passo 34, Fig. 6) e empilhado em pilhas de 120 m<sup>3</sup>, ficando em estágio durante aproximadamente 1 semana, processo denominado de estabilização (passo 35, Fig. 6).

- Estabilização, lixagem e corte

A estabilização é um estágio que permite estabilizar as características do painel, garantindo a reacção total da cola, e desta forma atingir as propriedades pretendidas para o painel.

Uma vez decorrido o período de tempo de estabilização, as pilhas de painéis passam para o processo de lixagem, onde entram numa linha de acabamento com três cabeçais que trabalham com lixas com grãos mais finos que a calibradora (passo 36, Fig. 6).

Após a operação de lixagem, os painéis são acondicionados em diferentes pilhas, consoante sejam conformes ou defeituosos. As pilhas são depois transportadas de novo para o armazém de stocks, onde são dispostas de acordo com as necessidades da secção de corte. O corte, é efectuado segundo as quantidades e medidas requeridas pelos clientes (passo 40, Fig. 6). Depois de cortados os painéis são empilhados numa mesa elevatória formando as paletes para venda. Quando as paletes estão completas, e os painéis estão conformes, vão para a linha de embalagem, ou para transformar.

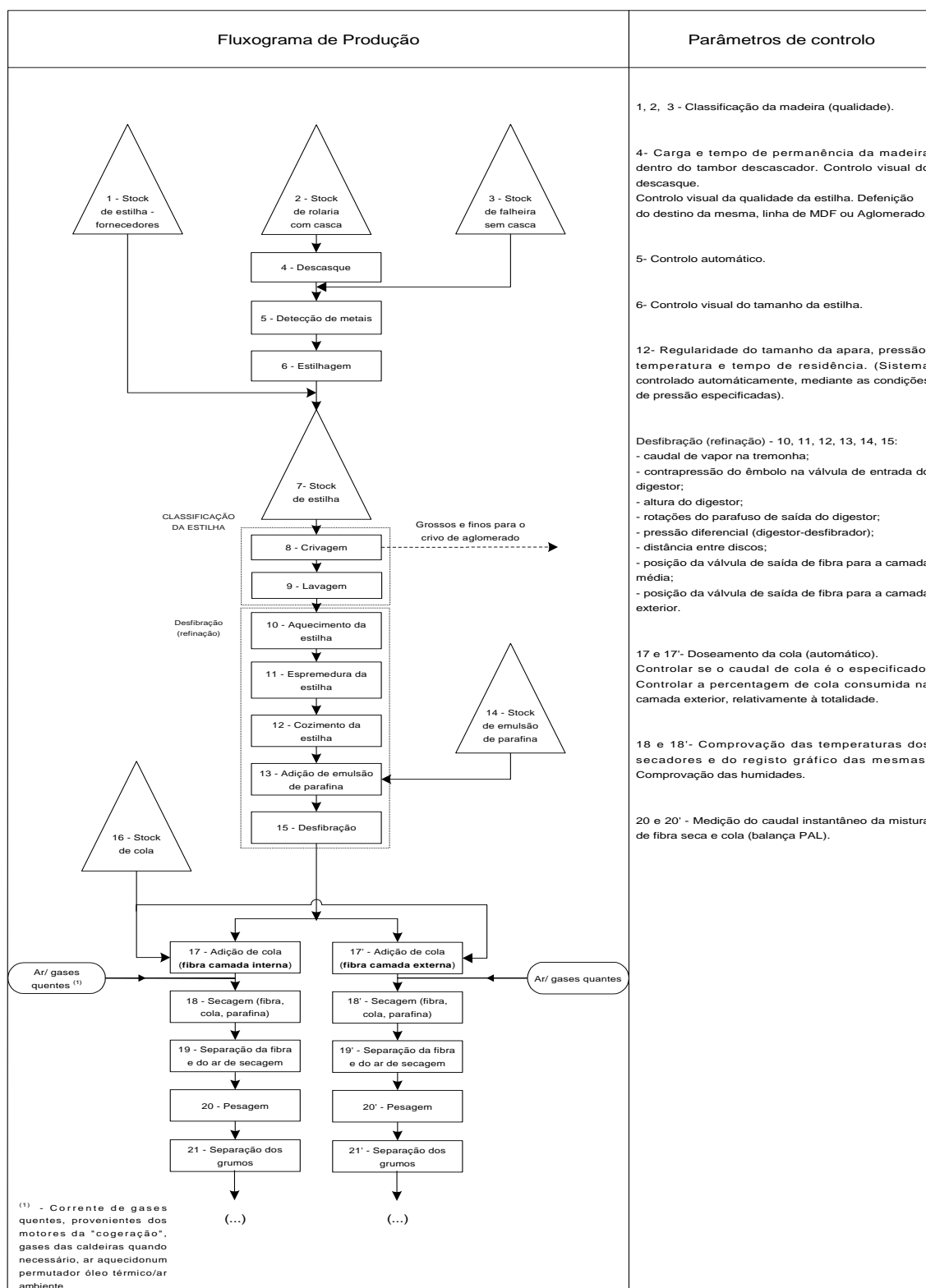


Fig.5 - Fluxograma de produção de painéis de aglomerado de fibras

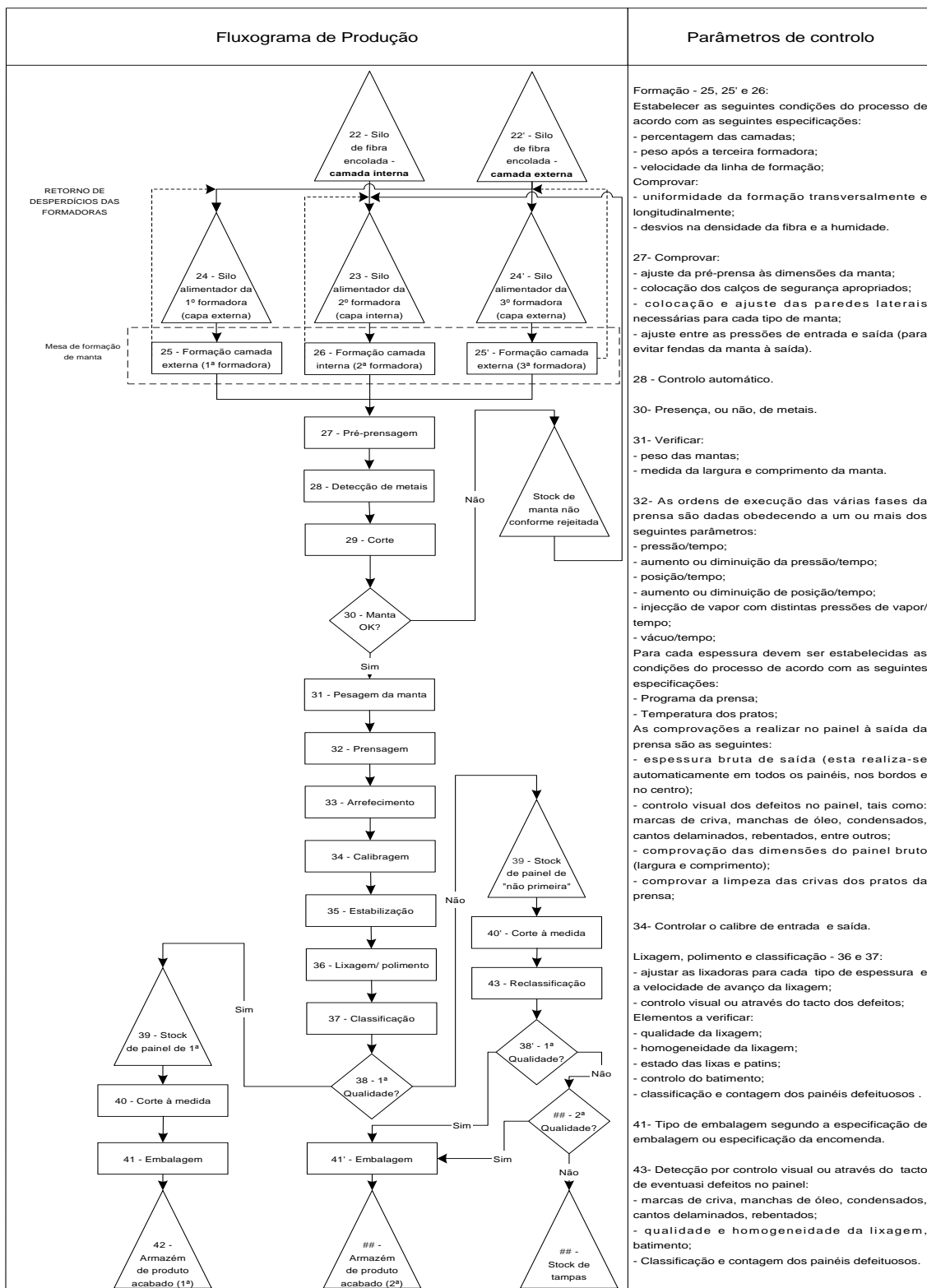


Fig.6 - Fluxograma de produção de painéis de aglomerado de fibras (continuação)



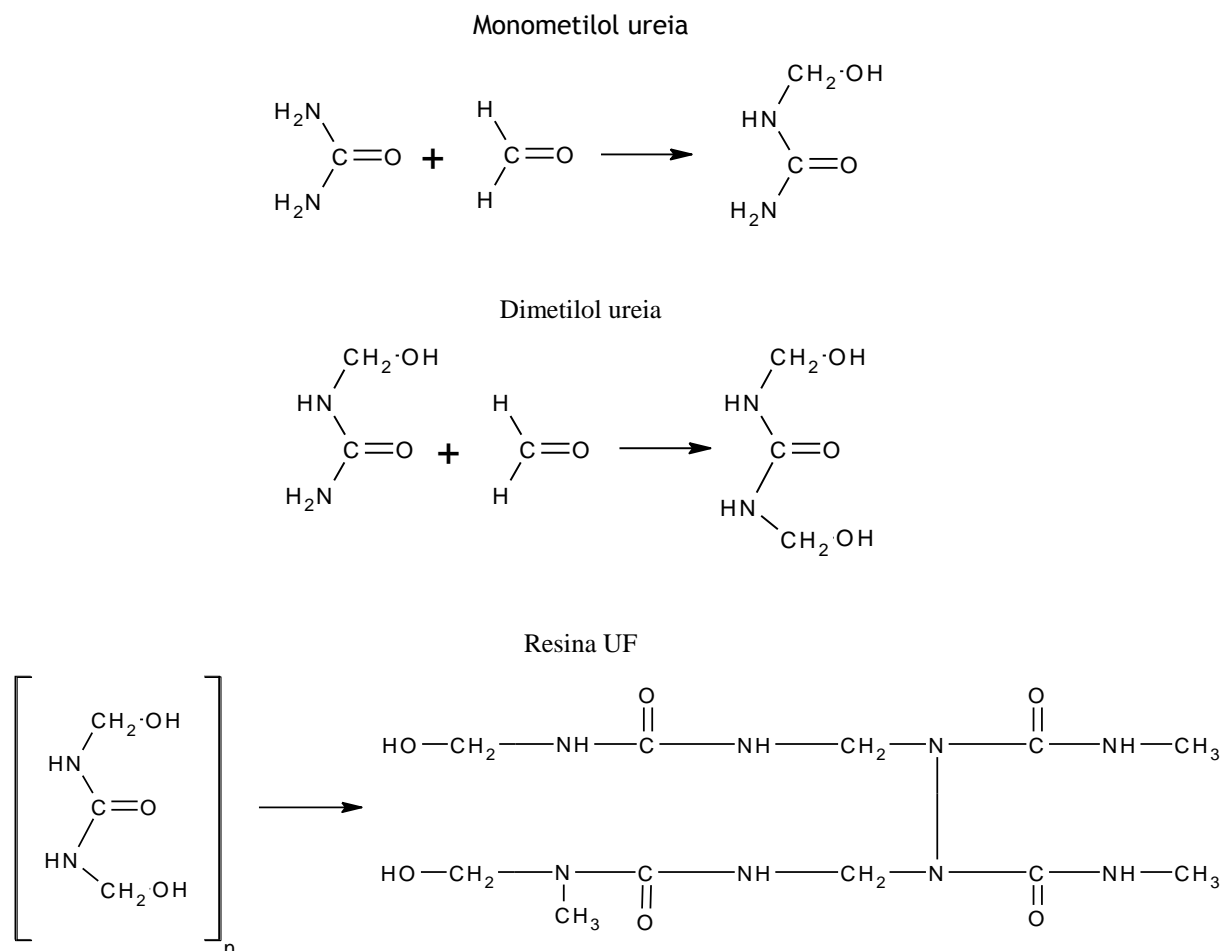


Fig. 8 - Esquema representativo da formação de colas UF com compostos intermédios

Dada a importância destas resinas para esta indústria vai-se de seguida comentar resumidamente o processo de fabrico utilizado nas fábricas pertencentes ao grupo FINSA.

De um modo geral, na produção de uma resina UF, começa-se por colocar no reactor todo o formaldeído de que a resina vai necessitar. Os reactores têm células de carga que indicam o peso de cada uma das adições. Depois de atingido o peso pretendido da solução aquosa de formaldeído, adiciona-se a dose de ureia adequada, e, uma vez que a reacção é exotérmica, a temperatura atingirá cerca de 95 °C. Se o pH for ácido, à volta de 4, é necessário aquecer o formaldeído a 60 °C para que a reacção ocorra, mas se for neutro, de 6 a 8, basta adicionar a ureia para que a reacção ocorra sem problemas. O produto obtido é conhecido por concentrado UF e é a base de todas as colas de formol-ureia. É um produto muito estável, totalmente transparente e com uma relação molar entre formaldeído e ureia de 5. De seguida, arrefece-se a 85 °C para continuar a produção de colas, ou totalmente, no caso de se querer armazenar. Adiciona-se uma segunda dose de ureia, pH entre 4,5 e 5,5, e a

solução aquece pois a reacção é exoenergética; espera-se que estabilize e começa-se a recolher amostras para viscosidade e pH com intervalos de 15 minutos. Com este segundo passo pretende-se obter a cola com o grau de condensação final. Existe uma terceira adição de ureia, por volta dos 60 °C, a partir da qual apenas se mantém a temperatura até à completa dissolução da ureia. De seguida arrefece-se e comprova-se que todos os parâmetros estão dentro de especificações. Se tal não suceder, corrige-se o pH com hidróxido de sódio ou com ácido fórmico, enquanto a viscosidade, por norma, não é corrigida. Se a viscosidade não for a correcta, havendo uma segunda preparação de cola igual para misturar no tanque de armazenamento, pode-se tentar compensar a viscosidade. Depois de pronta, é armazenada e está pronta a ser expedida.

À primeira ureia adicionada chama-se ureia para formação de UF, à segunda ureia de condensação e a última ureia adicionada denomina-se de estabilização.

De um modo geral, a viscosidade apresenta uma curva de forma exponencial (Fig. 9) e perto do final da produção o aumento de viscosidade por unidade de tempo é bastante maior, sendo necessário fazer leituras mais frequentes para evitar que a viscosidade ultrapasse o valor pretendido. Quando este valor é atingido, termina-se a reacção adicionando uma determinada quantidade de solução de hidróxido de sódio, passando-se a arrefecer o reactor.

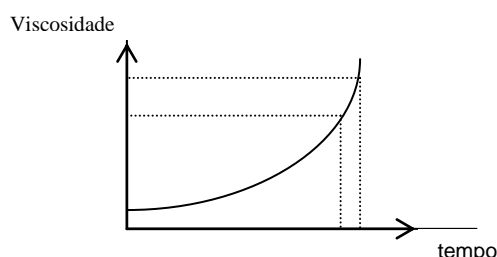


Fig. 9 - Esquema representativo da evolução da viscosidade no tempo, a temperatura constante

Uma maneira de otimizar este processo é o de baixar a temperatura ao mesmo tempo que a viscosidade aumenta. Assim consegue-se um patamar de viscosidade, facilitando o controlo por parte dos operadores.

De realçar também que o conteúdo de sólidos de uma cola não é o mesmo que a massa reactiva desta. Por exemplo, uma cola com 60% de sólidos tem, em alguns casos, cerca de 75 % de massa reactiva.

As colas de maior viscosidade são geralmente aplicadas nas indústrias de folheado e contraplacado. As colas com viscosidade intermédia, são utilizadas em aglomerados de partículas, onde se pretende que a cola tenha *tac*, ou seja, passando-lhe os dedos estes ficam pegajosos e com alguma aderência a superfícies. Isto melhora a prestação da cola pois esta apresenta alguma resistência à absorção por parte das partículas, e dá maior capacidade de compactação à manta. Para o painel de MDF usam-se colas de menor viscosidade, evitando a colagem de fibra nos secadores e a formação de grumos.

As duas matérias-primas principais para a elaboração das resinas são o formaldeído e a ureia. A ureia é sintetizada a partir do amoníaco (NH<sub>3</sub>) e do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este composto é comprado a fabricantes à escala global sendo transportada em navios até as fábricas químicas. O formaldeído é sintetizado através da oxidação do metanol na presença de oxigénio e um catalisador metálico, um composto de óxido de ferro e molibdénio O metanol é comprado também a fabricantes.

As resinas de ureia-formaldeído são solúveis em água, originam uma linha de cola incolor, e polimerizam a temperaturas de 95-120 °C. A quantidade de formaldeído que libertam depois de polimerizadas é um factor que tem de ser controlado (formaldeído livre).

### 2.2.3.2 - Resinas de formaldeído melamina

As resinas de formaldeído melamina (FM) apresentam viscosidades e relação molar semelhantes as resinas de UF, com metodologia de fabrico e aplicabilidade semelhantes as resinas UF. A linha de cola é igualmente incolor e quando comparada com as resinas UF forma uma cola mais elástica e mais resistente à água (Fig. 10). As suas aplicações principais são na colagem de painéis que vão estar expostos a ambientes húmidos como contraplacados e painéis hidrófugos.

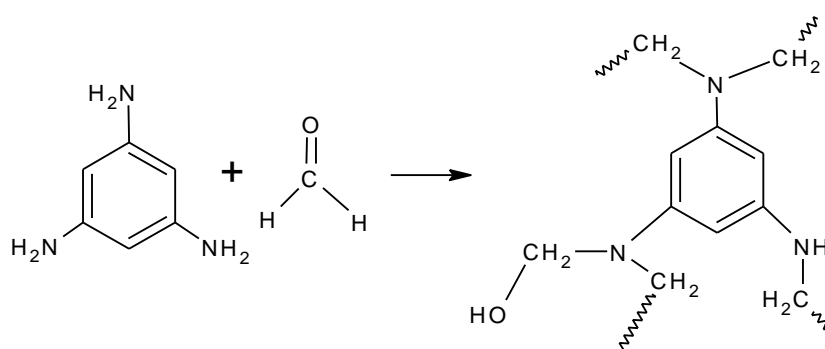


Fig. 10 - Reacção de uma resina FM

As resinas de FM são menos solúveis em água que as UF, sendo a tolerância á água, quantidade de água a partir de qual a resina se degrada, um factor muito importante quando se aplica a resina na produção de painéis de madeira. Esta resina pode ser misturada com ureia até uma percentagem de 40%, polimeriza a temperaturas de 120-150°C, originando colagens de elevada resistência mecânica, muito resistentes à água e à temperatura.

### 2.2.3.3 - Resinas de fenol-formaldeído

As resinas de fenol-formaldeído, ou fenólicas, dão origem a painéis com elevada resistência à humidade. Devido ao seu elevado custo são utilizadas para painéis aplicados usualmente no exterior de edifícios, sujeitos as condições atmosféricas de verão e inverno.

Estas colas (Fig. 11) formam uma linha de cola colorida, vermelho escuro, são solúveis em água, polimerizam a temperaturas de 115-150°C, e originam uma colagem muito resistente à acção da água e a temperaturas elevadas, sendo necessário cuidado com o seu manuseamento devido aos dois compostos principais que a formam, fenol e formaldeído. São habitualmente utilizadas na produção de contraplacados, OSB e painéis de fibra para o exterior.

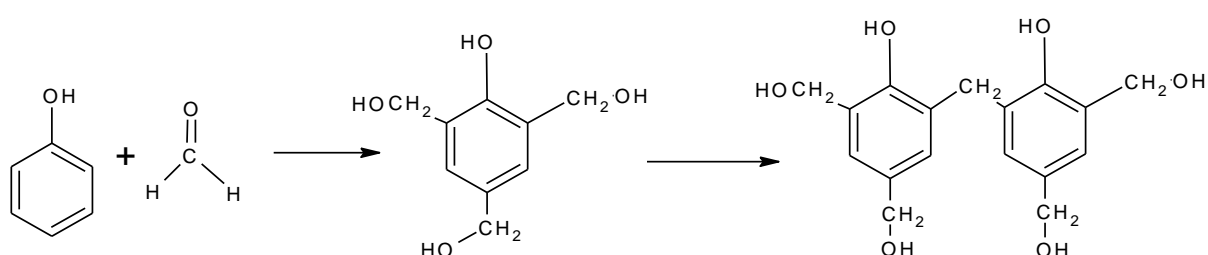


Fig. 11 - Reacção de uma cola Fenol Formaldeído

Por aquecimento forma uma rede densa (Fig.12)

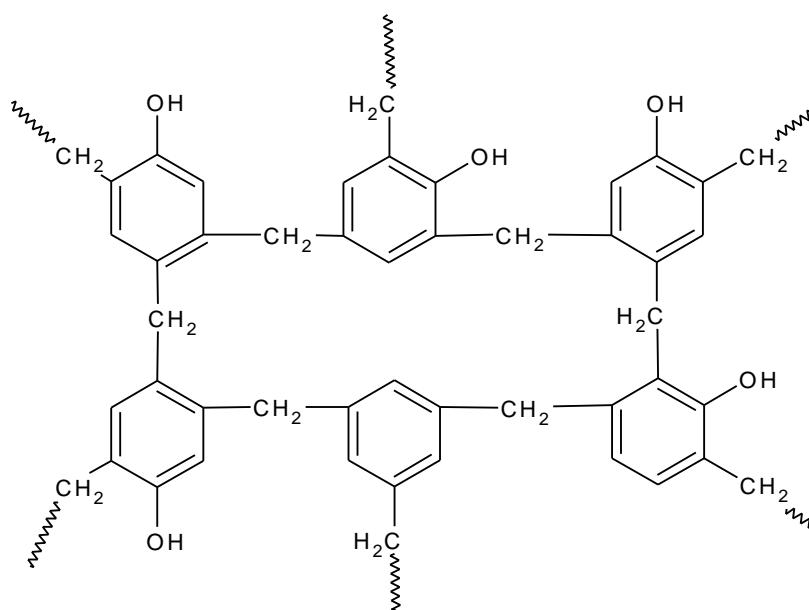


Fig. 12 - Reticulação de uma cola Fenol Formaldeído

#### 2.2.3.4 - Resinas de isocianatos

Nas resinas de isocianatos destaca-se a utilização de MDI (metildifenildiisocianato, Fig. 13), resina poliuretânica obtida pela reacção de polióis, compostos que contêm grupo de hidroxilo com isocianatos, podendo ser poliésteres ou acrílicas. São resinas com elevada resistência à água e podem ser utilizadas nos mais diversos campos como espumas, revestimentos, adesivos e elastómeros termoplásticos. A cola apresenta uma coloração castanha clara, polimeriza a temperaturas e pressões elevadas e apresenta uma elevada tolerância à água. Este assunto é aprofundado no capítulo 2.3.2.2.

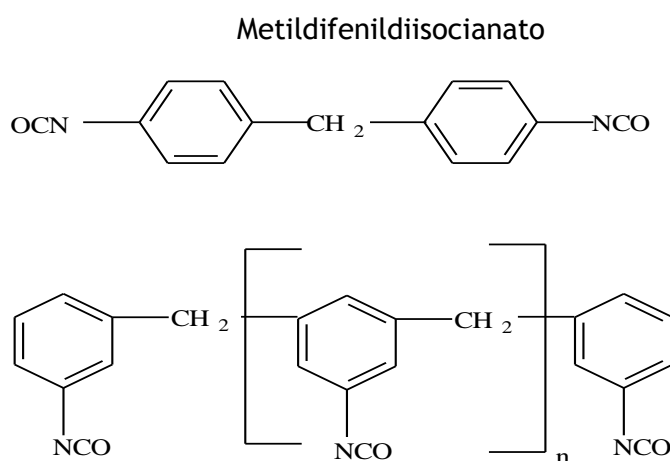


Fig. 13 - MDI e polímero formado.

## 2.2.4- PRINCIPAIS DESENVOLVIMENTOS DE PAINÉIS DE BAIXA DENSIDADE

Os painéis de baixa densidade sofreram um grande desenvolvimento nos últimos anos. De um modo geral todos os fabricantes sentiram a necessidade de poder oferecer ao mercado algum tipo de painel leve, alguns apresentando inovações tecnológicas e outros recuperando técnicas antigas e que tinham caído em desuso ou com baixa utilização. As principais estratégias utilizadas têm sido painéis com espaços ocios no seu interior, utilizando-se favos de cartão, traseiras de MDF, entre outros.

### 2.2.4.1 - Painel com favos no seu interior

Estes tipos de painel podem ser constituídos apenas com painéis de espessura fina, duas placas de MDF de espessura de 3 mm por exemplo, que estão unidas por tiras de MDF de espessura semelhante (Fig. 14), ou então unidos por favos de cartão (Fig. 15), obtendo-se um painel com uma densidade muito baixa (tabela 1.1). Como principal característica negativa destaca-se a descontinuidade de material que obriga a acabamentos e ferragens especiais para este tipo de material.

Tab 2.1 - Dados técnicos das principais propriedades físico-mecânicas de um painel com favos no seu interior - FINSA GREENPANEL (adaptado do fabricante FINSA).

Teste de referência	Propriedades	Unidades	Valores médios					
			28	38	50	60	80	100
	ESPESSURAS (mm)		28	38	50	60	80	100
EN 323	Densidade	kg / m <sup>3</sup>	250	200	170	150	130	115
EN 319	Tracção interna	N / mm <sup>2</sup>	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
EN 310	Resistência à flexão	N / mm <sup>2</sup>	10	10	7	7	5	5
EN 310	Módulo de elasticidade	N / mm <sup>2</sup>	100	1000	900	900	700	700
EN 311	Tracção superficial	N / mm <sup>3</sup>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
EN 322	Humidade	%	7 (+/-3)	7 (+/-3)	7 (+/-3)	7 (+/-3)	7 (+/-3)	7 (+/-3)
ISO 3340	Conteúdo em Sílica	% peso	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05



Fig. 14 - Foto de um painel com favos em MDF de 3mm de espessura



Fig. 15 - Foto de um painel com favos em cartão

#### 2.2.4.2 - Painel perfurado

Este tipo de painel ganhou nova importância nos últimos anos. Na formação da manta é colocado algum tipo de material que, depois desta ser prensada e o painel obtido, é retirado, ficando o painel com orifícios equidistantes (Fig. 16). Tal como no caso anterior a principal desvantagem é a descontinuidade de material.



Fig. 16 - Foto de um painel perfurado

#### 2.2.4.3.- Painel de MDF de baixa densidade

Neste tipo de painéis pretende-se obter basicamente um painel de MDF com densidade bastante inferior à habitual, cerca de 50% do seu valor padrão, diminuindo significativamente a quantidade de madeira por unidade de volume. Contudo, esta falta de material leva a que a coesão das partículas de cola com a madeira seja muito débil e visualmente as fibras de madeira não estão perfeitamente unidas (Fig. 17 e 18), originando painéis sem as características físico-mecânicas normalmente aceitáveis nestes produtos (tabela 2.2). Desta maneira, estes painéis não apresentam um bom comportamento para posterior transformação, não aguentando processos de revestimento como a melaminização ou folheamento. Contudo, o canto lateral deste painel não apresenta a descontinuidade dos casos anteriores.

Tab.2.2 - Dados técnicos das principais propriedades físico-mecânicas de painel de MDF com uma densidade de  $300 \text{ kg/m}^3$  - IBERPAN 300 (adaptado do fabricante FINSA).

Teste de referência	Propriedades	Unidades	Valores médios
EN 323	Densidade	$\text{kg / m}^3$	300
EN 319	Tracção interna	$\text{N / mm}^2$	0,06
EN 310	Resistência à flexão	$\text{N / mm}^2$	4
EN 310	Módulo de elasticidade	$\text{N / mm}^2$	1200
EN 317	Inchamento 24h.	%	15
EN 322	Humidade	%	7 (+/-3)
ISO 3340	Conteúdo em Sílica	% peso	$\leq 0,05$



Fig. 17 - Foto de um painel de MDF com uma densidade de  $300 \text{ kg/m}^3$  - fabricante Finsa



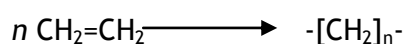
Fig. 18 - Foto de um painel de MDF com uma densidade de  $250 \text{ kg/m}^3$  - fabricante Glunz

## 2.3 - POLÍMEROS COM APLICABILIDADE NA INDÚSTRIA DA MADEIRA

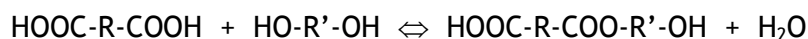
### 2.3.1 - INTRODUÇÃO

Os polímeros podem se divididos em quatro classes, sintéticos, naturais, semi-sintéticos e inorgânicos.

Por sua vez, as reacções de polimerização podem ser de dois tipos, de adição ou de condensação (tabela 1.3). Nas reacções de adição obtém-se um produto que é um múltiplo da molécula inicial, como por exemplo no polietileno



enquanto que nas reacções de condensação há eliminação de pequenas moléculas



Tab. 2.3 - Algumas características das reacções de adição e de condensação.

	<b>Adição</b>	<b>Condensação</b>
<b><i>eliminação de molécula</i></b>	nunca	frequente (H <sub>2</sub> O)
<b><i>reacção de iniciação</i></b>	sim	não necessária
<b><i>propagação</i></b>	reacção em cadeia	reacção passo-a-passo
<b><i>reacção final</i></b>	reacção rápida	todas as cadeias podem crescer
<b><i>reacção final</i></b>	necessária	não necessária
<b><i>tempo de reacção longo</i></b>	grau de polimerização diminui	grau de polimerização aumenta
<b>NOTAS:</b>	Muitos polímeros podem ser obtidos pelos dois modos. A polimerização por abertura de anel ( <i>ring-opening</i> ) é um caso intermédio.	

Os polímeros podem ser classificados como homopolímeros, polímeros formados por um único tipo de monómero, ou como copolímeros, formados por dois ou mais tipos de monómeros.

## 2.3.2 - POLÍMEROS QUE FORMAM ESPUMAS

As espumas podem ser obtidas a partir de diversos polímeros com a adição de um agente expensor que produzirá um gás na matriz polimérica. A selecção do polímero depende das propriedades que se pretendem obter, das possibilidades técnicas e do custo de fabrico [9]. Os polímeros que geralmente são utilizados na forma celular são o poliuretano (PU), o polipropileno (PP), o polietileno (PE), o poli(cloreto de vinilo) (PVC), o poliestireno (PS), entre outros.

Tecnicamente, as principais propriedades das espumas são a capacidade de isolamento térmico e acústico, de amortecimento, menor densidade, consequentemente menor consumo de material, e maior rigidez específica (relação rigidez/peso) [10].

Estas espumas podem apresentar uma faixa muito larga de densidades, variando de 1,6 kg / m<sup>3</sup> a 960 kg / m<sup>3</sup>. Por sua vez, as propriedades mecânicas são geralmente proporcionais a densidade, pelo que a aplicação a que é destinada acaba por definir a densidade da espuma. Por exemplo, as espumas com densidades superiores a 240 kg / m<sup>3</sup> são utilizadas como revestimento de cabos eléctricos, tubagens e isolamento térmico em frigoríficos. Já espumas com densidades inferiores a 240 kg / m<sup>3</sup> são utilizadas para amortecimento de impactos em embalagens [11, 12].

### 2.3.2.1 - Poliestireno

O poliestireno (Fig. 19) é um plástico que se obtém por polimerização do estireno, um líquido oleoso com ponto de ebulição 145°C e ponto de fusão -30,6°C, incolor e de cheiro penetrante. O estireno é um derivado insaturado do benzeno. Quimicamente é um hidrocarboneto aromático insaturado de fórmula C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>. É também chamado de fenilacetileno ou vinilbenzeno.

É um polímero de adição resultante da reacção do monómero estireno (Fig.20). A sua oxidação completa produz dióxido de carbono e água.

O poliestireno foi fabricado pela primeira vez em 1929, tendo sido o primeiro plástico a ser produzido industrialmente. Normalmente, este material é obtido a partir do petróleo, sendo conhecido, na sua forma expandida, pelos nomes comerciais isopor ou estiropor e, em Portugal, sob o nome de esferovite. O processo específico de polimerização do estireno, que emprega um gás de expansão, normalmente o pentano, gera o poliestireno expandido, conhecido mundialmente pela marca Isopor, marca registada que pertencia a BASF no Brasil e, actualmente é propriedade da empresa KNAUF Isopor Ltda.

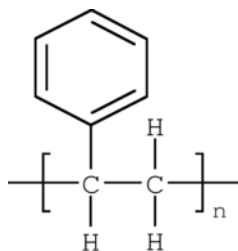


Fig. 19 - Fórmula estrutural da cadeia de poliestireno

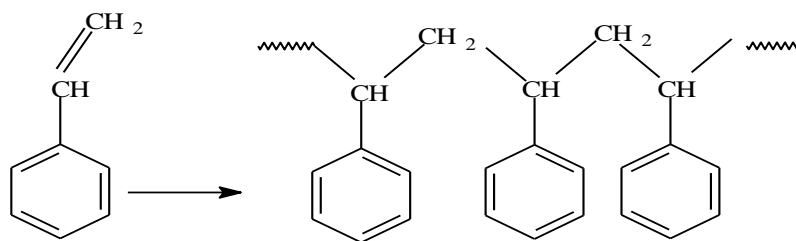


Fig. 20 - Formação de poliestireno

É um homopolímero resultante da polimerização do monómero de estireno que, à temperatura ambiente, se apresenta no estado sólido. Trata-se de uma resina do grupo dos termoplásticos, cuja característica reside na sua fácil flexibilidade ou moldabilidade sob a acção do calor. Os processos de moldagem do poliestireno são principalmente a termoformagem a vácuo e a extrusão. Sob a acção do calor, a resina toma a forma líquida ou pastosa, moldando-se com facilidade em torno de um molde. Com o arrefecimento após a moldagem, o produto readquire o estado sólido, na forma das peças pretendidas.

O poliestireno é um material transparente como o vidro, sólido, brilhante, inodoro, não prejudicial à saúde, resistente à humidade, mas muito frágil. Para resolver o problema da fragilidade recorre-se frequentemente à copolimerização com polibutadieno, obtendo-se um copolímero em bloco chamado "polibutadienoestireno", que apresenta uma elasticidade muito superior à do poliestireno, já que os blocos de polibutadieno se comportam praticamente como uma borracha. Mediante um processo análogo ao da formação de uma espuma, obtém-se o poliestireno expandido, vulgarmente denominado de esferovite, que é um material leve e esponjoso, muito utilizado como isolante e em embalagens. Além da sua principal aplicação como isolante, é ainda utilizado em electrotecnia, objectos de consumo, vernizes de resina e no fabrico de plástico celular. Por fusão, fiação e estiragem do poliestireno obtêm-se fibras e filamentos resistentes e estáveis em diferentes condições ambientais.

### - Poliestireno expandido

O poliestireno expandido (EPS) é obtido a partir do poliestireno (PS) expansível, polímero de estireno que contém um agente expensor. Apresenta-se sob a forma de pequenos grânulos e é a matéria-prima dos fabricantes de EPS, os quais apenas sujeitam este material a processos físicos, não se alterando as propriedades químicas do produto. A formação do EPS processa-se em três etapas, pré-expansão, armazenamento intermédio e moldagem.

A pré-expansão é efectuada numa primeira fase num pré-expansor através de aquecimento por contacto com vapor de água. O agente expensor faz aumentar o volume do PS cerca de 50 vezes. Obtém-se um granulado de EPS cujas partículas são constituídas por pequenas células fechadas, sendo armazenado para uniformizar e favorecer estabilização.

O armazenamento intermédio é necessário para permitir a posterior transformação do EPS. Durante esta fase, o granulado de EPS sofre um processo de estabilização onde arrefece, o que cria uma depressão no interior das células fazendo com que estas fiquem com os espaços interiores preenchidos com ar.

Na moldagem, o granulado estabilizado é introduzido em moldes e exposto novamente a vapor de água, o que provoca a colagem do mesmo, obtendo-se deste modo um material expandido, que é rijo e contém uma grande quantidade de ar. Os moldes podem ser de formas variadas conforme a aplicação a que o produto é destinado. Por outro lado também a escolha do tipo de matéria-prima e os ajustes e parametrização do processo de fabrico, permitem a obtenção de uma ampla gama de tipos de EPS, com diversas densidades, cujas características se adaptam às aplicações previstas.

### 2.3.2.2 - Poliuretanos

Poliuretano (PUE) é qualquer polímero que contenha uma cadeia de unidades orgânicas unidas por ligações uretânicas. É amplamente usado em espumas rígidas e flexíveis, em elastómeros duráveis e em adesivos de alto desempenho, em isolamentos, fibras, vedações, preservativos, carpetes, etc. É um composto químico sintético, formado a partir de reacções químicas entre dois compostos.

A espuma PUE, ou espuma de poliuretano, é um material que tem como base o poliuretano e que é utilizado para preencher fendas, isolar juntas, etc.

A principal reacção de produção de poliuretanos tem como reagentes um diisocianato, na forma alifática ou aromática, e um polioliol, como o etilenoglicol, 1,4-butanodiol, glicerol, dietilenoglicol ou trimetiolpropano, ou um polioliol poliéster, na presença de catalisador e, no caso de espumas, de materiais para o controlo da estrutura das células (surfactantes). O poliuretano pode ter uma variedade de densidades e de durezas, que mudam de acordo com o tipo de monómero usado e de acordo com a adição ou não de substâncias modificadoras de propriedades. Os aditivos também podem melhorar a resistência à combustão, a estabilidade química, ou outras propriedades.

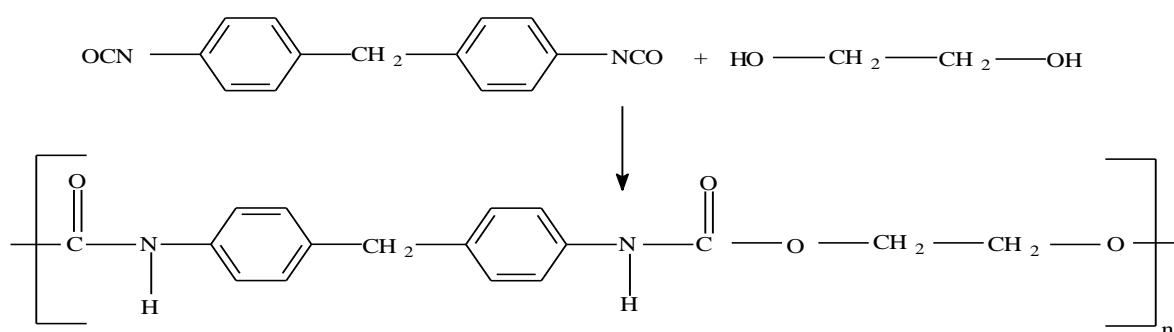


Fig. 21 - Exemplo típico de reacção de formação de poliuretano

A utilização de diferentes reagentes faz com que seja possível uma vasta gama de utilizações dos poliuretanos, de acordo com as suas características. O poliuretano é um material extremamente versátil, mas pode ser dividido em quatro grandes categorias, espumas rígidas, espumas flexíveis, elastómeros e tintas.

A espuma de poliuretano, inclusive a espuma de borracha, é geralmente feita com a adição de pequenas quantidades de materiais voláteis à mistura reaccional, denominados por agentes de sopro. Estes materiais podem ser substâncias químicas voláteis e simples, como a acetona ou o cloreto de metileno, ou então fluorocarbonetos mais sofisticados que conferem características importantes de desempenho especialmente o isolamento térmico.

Outra via comum para a produção de espumas é a adição de água a um dos líquidos precursores do poliuretano antes da mistura dos componentes. A água vai reagir com uma parte do isocianato, formando-se dióxido de carbono e libertando bolhas relativamente uniformes que, com o endurecimento do polímero, formam uma espuma sólida. A presença de água significa que uma pequena parte das reacções resultam em ligações ureia, em vez das habituais ligações uretánicas, de forma que o material resultante deveria ser tecnicamente chamado de poli(uretano-co-ureia).

Encontramos duas famílias de espumas, espumas de célula fechada, na qual a maior parte das células ("bolhas" da espuma) permanece fechada e o gás preso no seu interior, e espumas de célula aberta, na qual a maior parte das células ficam abertas depois de um passo crítico no processo de formação da espuma, se as células não se formarem ou se se tornarem abertas muito cedo, simplesmente não há formação de espuma (Fig. 22).

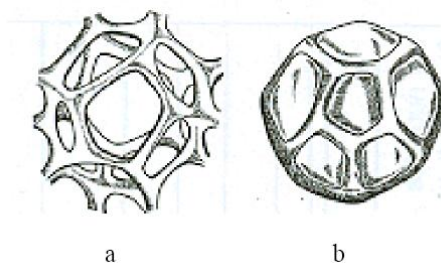


Fig. 22 - Esquema representativo de uma espuma polimérica de célula aberta (a) e de uma espuma polimérica de célula fechada (b)[13].

Este processo é muito importante, uma vez que define o tipo de material que se vai obter. Se as espumas flexíveis tiverem células fechadas, a sua suavidade fica altamente comprometida, originando um material cujo contacto vai dar a sensação de ser um material pneumático em vez de uma espuma macia. Assim, as espumas flexíveis devem ter células abertas. Em relação às espumas rígidas, na maioria dos casos pretende-se o oposto. A retenção do gás nas células é um factor positivo, já que confere à espuma uma das suas características principais, o elevado isolamento térmico, especialmente no caso dos fluorocarbonetos. Existe ainda uma terceira variante de espuma, chamada espuma microcelular, que dá origem a materiais elastoméricos rígidos tipicamente encontrados nos revestimentos de, por exemplo, volantes de automóveis ou outros compostos semelhantes.

### 3 - PARTE EXPERIMENTAL

Os ensaios laboratoriais foram efectuados no laboratório da empresa Bresfor (Fig. 23), já que dispõe dos meios necessários para a produção de painéis de laboratório. Esta empresa pertence ao grupo FINSA e tem como actividade produção de formaldeído e de resinas UF e FM.

Da maquinaria utilizada destaca-se a prensa de laboratório, marca Siempelkamp. Todos os outros equipamentos foram fabricados na própria empresa, excepto as pistolas pneumáticas.



Fig. 23 - Fotografia geral da zona experimental do laboratório

#### 3.1 - DESCRIÇÃO DO MÉTODO OPERATIVO

O método operativo foi idêntico em todos os ensaios, apresentando-se de seguida uma descrição do mesmo.

Inicialmente começou-se por pesar a fibra. Esta fibra foi depois colocada no interior da encoladora (Fig. 24), máquina que cola a fibra de forma uniforme a homogeneiza todo o conjunto.



Fig. 24 - Fotografias da encoladora laboratorial.

Com a fibra no seu interior, fechou-se a tampa e ligou-se a máquina (movimento de rotação das pás). A adição de água, colas, nos respectivos ensaios, ou de outros produtos químicos na fase líquida era feita com pistolas pneumáticas através de dois pontos existentes na encoladora. Para isso, pesou-se a quantidade de água ou cola e colocou-se no copo da pistola.

No caso de cola FU esta foi previamente misturada com o catalisador antes de ser adicionada à fibra da encoladora. Nos ensaios com MDI, dado que este é catalisado por água, adicionou-se o MDI com uma pistola e a água com a outra pistola. Sempre que se adicionaram elementos líquidos esperou-se cerca de um minuto com a encoladora em funcionamento para garantir uma boa homogeneização da fibra e dos outros produtos. De seguida, a encoladora era parada, abria-se a sua tampa e retirava-se a fibra através do uso de um pequeno ventilador. A fibra era deste modo transportada pneumáticamente para um equipamento onde se forma o “colchão”, o qual tem aspiração na base para evitar que a fibra seja “soprada” e para facilitar a deposição da mesma.

O colchão foi de seguida comprimido para lhe conferir maior consistência, retirar o ar existente no interior e diminuir o seu volume (função idêntica que a pré-prensa tem no processo industrial, secção 2.2.2, Formação). Feito este passo, era colocado entre duas chapas metálicas de aço e colocado na prensa (Fig. 25).



Fig. 25 - Fotografia da prensa laboratorial

As colas utilizadas nos ensaios apresentados neste trabalho foram cola FU 1092, fornecida pela empresa BRESFOR (Anexo I) e MDI fornecido pela empresa HUNSTMAN (Anexo II).

As condições de prensagem foram temperatura de 200 °C e pressão de circuito inicial de 85 bar, sendo depois diminuída de forma gradual e acompanhando a diminuição da contra-pressão do painel. O tempo de prensagem era variável, terminando quando a contra-pressão era nula, factor indicativo que as fibras de madeira estavam coesas e não existia pressão de vapor significativo no interior da placa.

### 3.2 - DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE

As análises feitas às diversas placas obtidas estão normalizadas por normas europeias, apresentando-se de seguida uma breve descrição:

- Tracção: determinação da resistência à tracção perpendicular das faces da amostra, submetendo-a uma força de tracção uniformemente repartida até a rotura da placa (EN 319).

- Inchamento: incremento relativo de volume do painel mergulhado em água por 24 horas. O método de ensaio consiste em cortar uma amostra de 50\*50 mm, medir a espessura no centro, mergulhar completamente em água e, passadas 24 horas, medir de novo a espessura no mesmo ponto (EN 317). O valor é dado em %, sendo calculado de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Inchamento (\%)} = (\text{espessura final} - \text{espessura inicial}) / \text{espessura inicial} \times 100$$

- Absorção: incremento relativo de massa do painel mergulhado em água. O método de ensaio consiste em cortar uma amostra de 50\*50 mm, pesar, mergulhar completamente em água e passadas 24 horas pesar de novo.

$$\text{Absorção (\%)} = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{peso inicial} \times 100$$

## 4 - APRESENTAÇÃO E DICUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 - ADIÇÃO DE POLIESTIRENO

Com a adição de poliestireno pretendia-se colmatar o espaço dentro dos painéis de madeira com um produto de baixa densidade e com elevadas propriedades hidrófobas. Este produto seria o poliestireno expandido mas que infelizmente a temperaturas elevadas é destruído, podendo ser uma limitação para a aplicação directa na produção de painéis de madeira industrial. Da pesquisa bibliográfica efectuada surgiam três hipóteses de poliestireno cuja viabilidade parecia ser positiva e que poderiam ser aplicados na produção de painéis, poliestireno de alto-impacto, poliestireno sindiotático e poliestireno pré-expandido.

O poliestireno de alto-impacto (antichoque em espanhol) apresenta uma elevada resistência a temperatura, permitindo aplicações a temperaturas elevadas, sendo por isso viável para a indústria de produção e aplicação de painéis de madeira. Contudo, este material apresenta densidades muito elevadas, não se tendo encontrado nenhuma referência a este produto com uma densidade adequada à sua aplicação no processo produtivo, pelo que se decidiu não utilizar este tipo de produto.

O poliestireno sindiotático é um produto em que os anéis aromáticos estão colocados na cadeia de uma forma alternada, dando a este produto elevadas características de resistência à temperatura. Apresenta uma estrutura molecular mais cristalina que os demais tipos de poliestireno. Contudo, não foi possível encontrar no mercado um produto com as características pretendidas.

Em relação ao poliestireno pré-expandido, de acordo com a pesquisa bibliográfica efectuada seria o tipo de poliestireno mais adequado, não tendo sido possível até ao momento obtê-lo.

#### POLIESTIRENO EXPANDIDO

Face à impossibilidade de obtenção dos produtos alternativos, este foi o único poliestireno conseguido para fazer os ensaios e, apesar de teoricamente não ser o mais indicado, decidiu-se investigar o seu comportamento.

Com base nos conhecimentos da produção de painéis à base de madeira decidiu-se iniciar a investigação prática empregando fibra de madeira seca encolada com colas FU (formaldeído ureia) e depois adicionar a resina ou o produto expansivo.

Por limitações técnicas no laboratório decidiu-se fazer painéis experimentais com espessura aproximada de 16 mm, sendo esta provavelmente a espessura mais comercializada no mercado, apesar da grande aplicação dos painéis de baixa densidade estar nas espessuras de 25, 30 e 35 mm.

**Ensaio A - painel apenas com fibra encolada com cola FU (11%), sem resinas expansivas ou outros produtos (painel de amostra testemunho)**

Com este ensaio pretendia-se obter um painel que servisse para comparação com os outros e ver o efeito da resina expansiva.

Feitos os cálculos para placas de dimensão 500\*500\*18 mm (espessura bruta) e tendo em conta que a nossa fibra tinha uma humidade de 5%, decidiu-se corrigir a humidade para 12%, resultando assim que para este 1º ensaio necessitaríamos de 1071 g de fibra e de 75 g de água (tab. 4.1).

Tab. 4.1 - Relação de materiais utilizados para a preparação do ensaio A

<b>Designação (ensaio)</b>	<b>A</b>
<b>Fibra Encolada (g)</b>	1125
<b>Solução de catalisador (g)</b>	100
<b>Água (g)</b>	75

O painel obtido apresentou o perfil de densidade contido na Fig. 26.

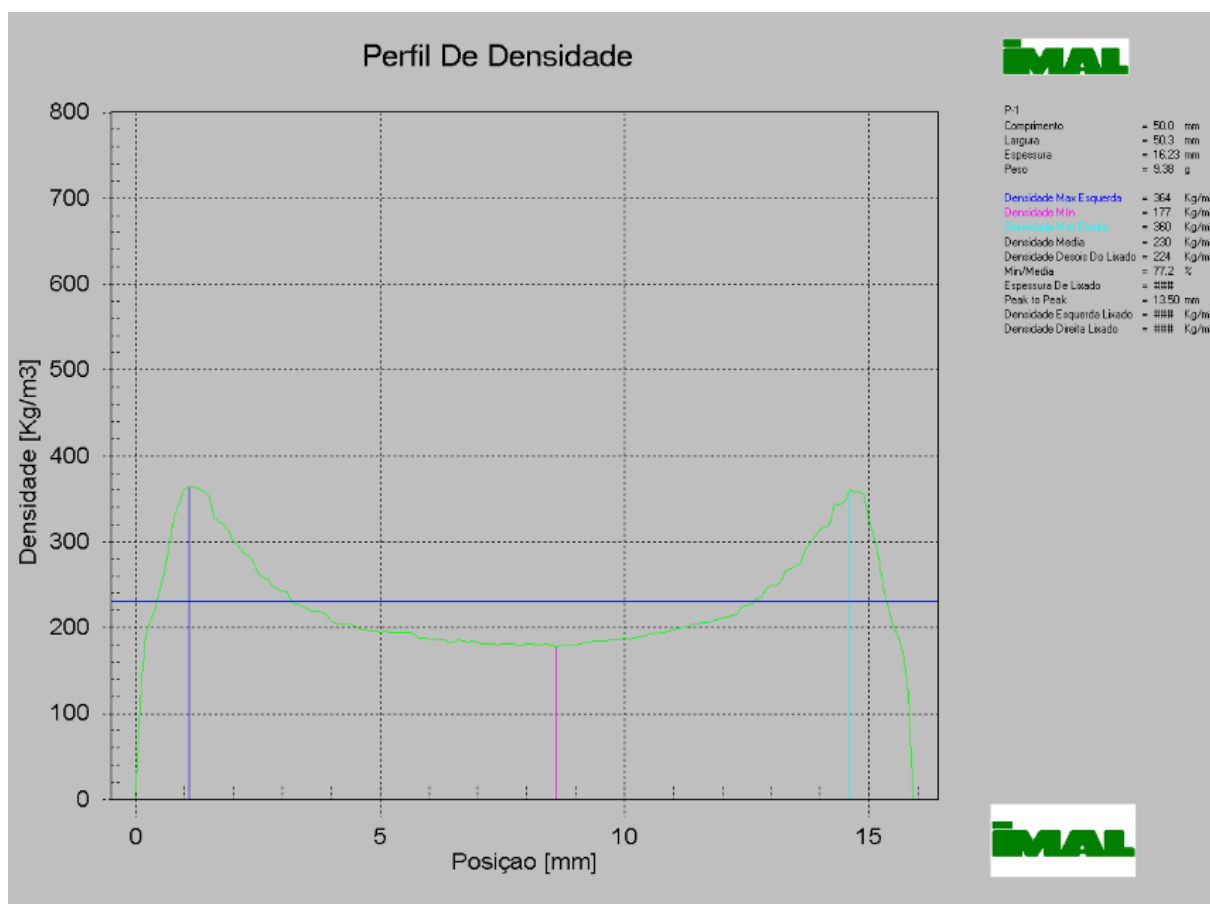


Fig. 26 - Perfil de densidade do painel padrão, ensaio A

Os resultados dos ensaios físico-mecânicos feitos a esta placa são apresentados na tabela 4.2.

Tab. 4.2 - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas do ensaio A

Designação (ensaio)	A
Espessura (mm)	16,23
Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	230
Tracção (N/mm <sup>2</sup> )	0,05
Inchamento 24 h (%)	13,6
Absorção 24 h (%)	95,98
Humidade (%)	5,9
MOR (N/mm <sup>2</sup> )	4,125
MOE (N/mm <sup>2</sup> )	403

O painel obtido apresenta um perfil de densidade equilibrado, com uma densidade média de 230 kg/m<sup>3</sup> e com uma densidade mínima de 177 kg/m<sup>3</sup>. A densidade das caras foi de aproximadamente 360 kg/m<sup>3</sup>, demonstrando que a contra-pressão oferecida pelo material durante a prensagem não foi muito significativa.

Pode-se verificar que a tracção obtida foi muito baixa (0,05 N/mm<sup>2</sup>), tornando este tipo de placa inviável para qualquer aplicação na indústria de mobiliário ou afins. O inchamento foi mais baixo do que o esperado, mas por sua vez a placa absorveu quase o seu peso em água (95,98%). As fibras de madeira mostram-se pouco coesas, soltas, dando um aspecto de “pelo” na superfície da placa.

#### **Ensaio B - painel com fibra encolada com 11% cola FU e com 4% de poliestireno**

Para este ensaio utilizou-se aproximadamente 4% em peso de poliestireno, o que em volume representa cerca de 20% (tabela 4.3). O painel obtido apresenta o perfil de densidade contido na Fig. 27.

Tab. 4.3 - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de poliestireno

<b>Designação (ensaio)</b>	<b>B</b>
<b>Fibra Encolada (g)</b>	1077
<b>Solução de catalisador (g)</b>	100
<b>Água (g)</b>	72
<b>Poliestireno (g)</b>	46

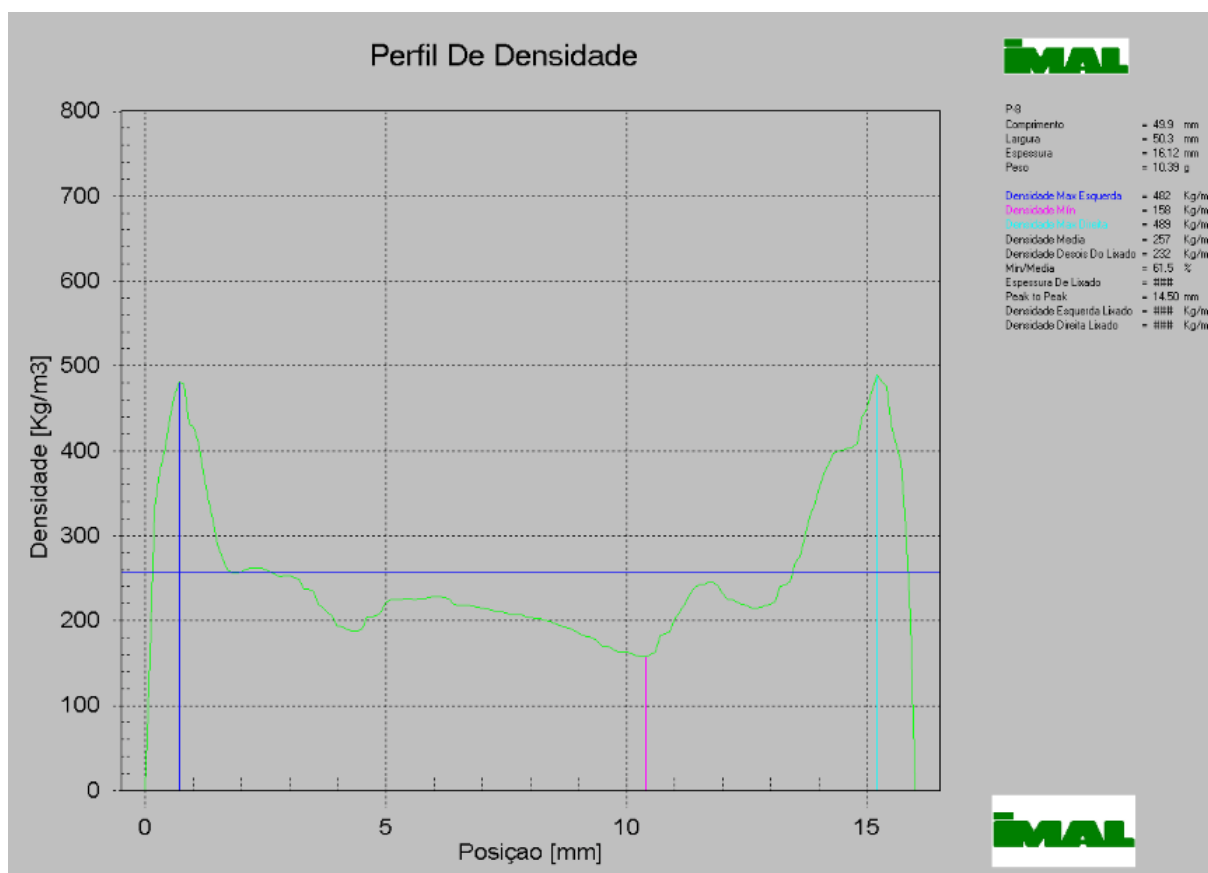


Fig. 27 - Perfil de densidade do ensaio B

Os resultados dos ensaios físico-mecânicos feitos a esta placa são apresentados na tabela 4.4.

Tab. 4.4 - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 4% de poliestireno

Designação (ensaio)	B
Espessura (mm)	16,12
Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	257
Tracção (N/mm <sup>2</sup> )	0,05
Inchamento 24 h (%)	11,5
Absorção 24 h (%)	115,8
Humidade (%)	5,4
MOR (N/mm <sup>2</sup> )	3,85
MOE (N/mm <sup>2</sup> )	421

O perfil de densidade do produto obtido apresenta variações de densidade significativas no centro do painel, com uma densidade média de 257 kg/m<sup>3</sup> e com uma densidade mínima de 159 kg/m<sup>3</sup>. Contudo, apresenta uma densidade de caras bastante elevada, acima de 480 kg/m<sup>3</sup>, que implica que o material apresentou bastante contra-pressão.

Pode-se verificar que a tracção obtida foi muito baixa ( $0,05 \text{ N/mm}^2$ ), tornando esta placa inviável para qualquer aplicação na indústria de mobiliário ou afins. A placa ficou com um aspecto esburacado, uma vez que as esferas de poliestireno perderam volume pela acção da temperatura ficando um espaço vazio no seu lugar, ou pequenos restos de poliestireno. O inchamento foi de 11,5 %, e dado o aspecto esburacado, seria expectável um valor superior, já que os espaços vazios seriam propícios ao armazenamento e transporte de água. Em relação à absorção, a placa ficou com mais do dobro do seu peso, absorvendo bastante água (115,8%). As fibras de madeira mostram-se pouco coesas, soltas, dando um aspecto de “pelo” na superfície da placa.

**Ensaio C - painel com fibra encolada com 11% de cola FU e com 4% de poliestireno, com uma humidade de colchão de 25%**

Tendo por base o 2º ensaio, decidiu-se tentar produzir um painel semelhante mas com bastante mais humidade, 25% neste caso (tabela 4.5). O painel obtido apresenta o perfil de densidade contido na Fig. 28.

Tab. 4.5 - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de poliestireno e humidade de 25%, ensaio C

<b>Designação (ensaio)</b>	<b>C</b>
<b>Fibra Encolada (g)</b>	1077
<b>Solução de catalisador (g)</b>	100
<b>Água (g)</b>	205
<b>Poliestireno (g)</b>	45

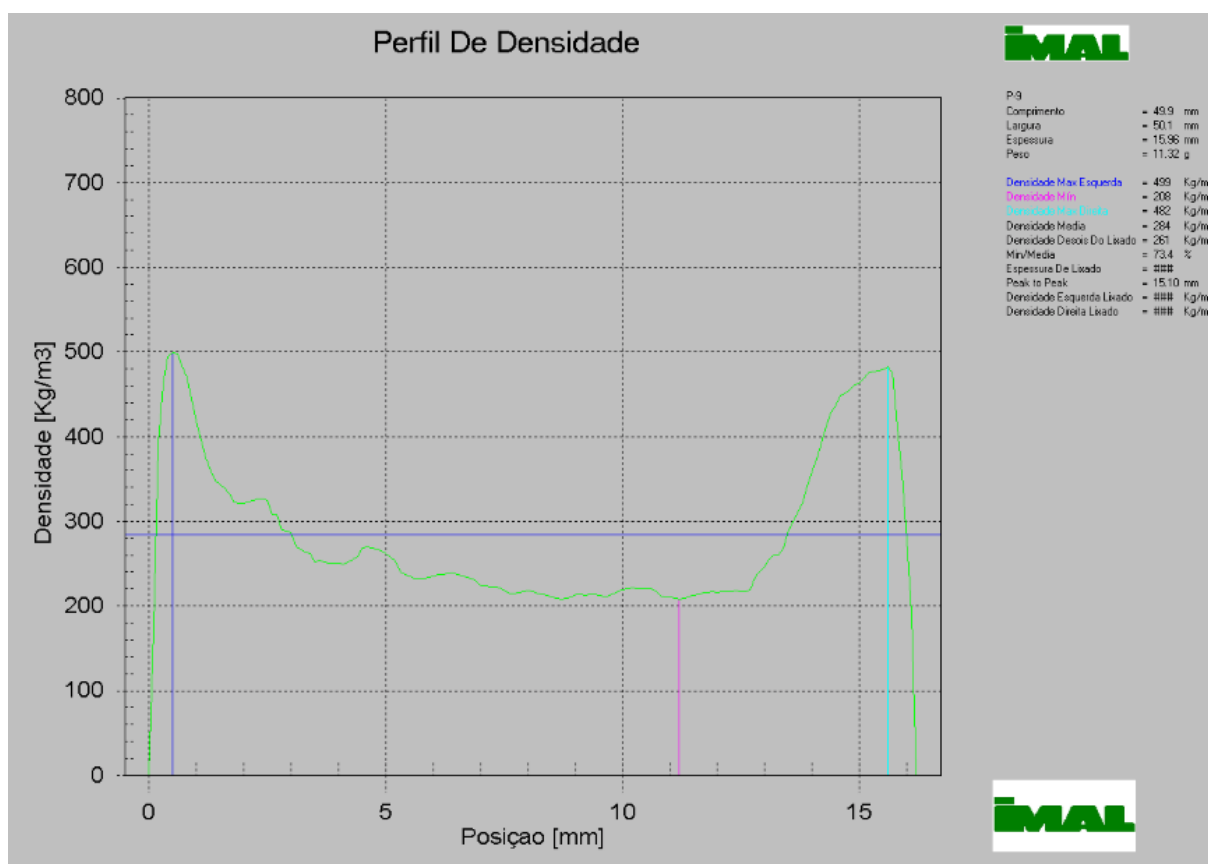


Fig. 28 - Perfil de densidade do ensaio C

Os resultados dos ensaios físico-mecânicos feitos a esta placa são apresentados na tabela 4.6.

Tab. 4.6 - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 4% de poliestireno e humidade de 25%, ensaio C

Designação (ensaio)	C
Espessura (mm)	15,96
Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	284
Tracção (N/mm <sup>2</sup> )	0,06
Inchamento 24 h (%)	9
Absorção 24 h (%)	111,4
Humidade (%)	5,4
MOR (N/mm <sup>2</sup> )	4,565
MOE (N/mm <sup>2</sup> )	540

A placa obtida apresentou uma densidade média mais elevada do que o esperado. O perfil de densidade do produto obtido apresenta variações ligeiras de densidade no centro do painel, com uma densidade média de 284 kg/m<sup>3</sup> e com uma densidade mínima de 208 kg/m<sup>3</sup>.

A densidade de caras é bastante elevada, acima de  $480 \text{ kg/m}^3$ , que implica que o material apresentou bastante contra-pressão.

Pode-se verificar que a tracção obtida continua muito baixa ( $0,06 \text{ N/mm}^2$ ), e apesar de ser ligeiramente superior ao ensaio anterior, este tipo de placa continua inviável para qualquer aplicação na industria de mobiliário ou afins. A placa também apresentou um aspecto esburacado, uma vez que as esferas de poliestireno perderam volume ficando um espaço vazio no seu lugar, ou com restos de poliestireno. O inchamento foi baixo (9%), e a absorção foi de 111,4%, mantendo portanto as mesmas tendências do ensaio B. Em resumo, a placa obtida no ensaio C apresenta as mesmas linhas de tendência da placa do ensaio B, não apresentando diferenças significativas. As fibras de madeira também estão pouco coesas, dando o mesmo aspecto de “pelo” na superfície da placa. Neste caso não é tão pronunciado como na placa anterior devido, sem dúvida, à sua maior densidade.

## 4.2 - ADIÇÃO DE RESINA DE METILDIFENILDIISOCIANATO

### Ensaio D- painel com fibra encolada com 11% de cola FU e adição de 2% de MDI

Para este primeiro ensaio com MDI usaram-se as mesmas condições do painel A e adicionou-se 2% em massa de MDI (tabela 4.7). As condições de formação e prensagem foram exactamente as mesmas do ensaio A. O painel obtido apresenta o perfil de densidade contido na Fig. 29. Os resultados dos ensaios fisico-mecanicos feitos a esta placa são apresentados na seguinte tabela 4.8.

Tab. 4.7 - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 2% de MDI, ensaio D

Designação (ensaio)	D
Fibra Encolada (g)	1104
Solução de catalisador (g)	100
Água (g)	76
MDI (g)	21

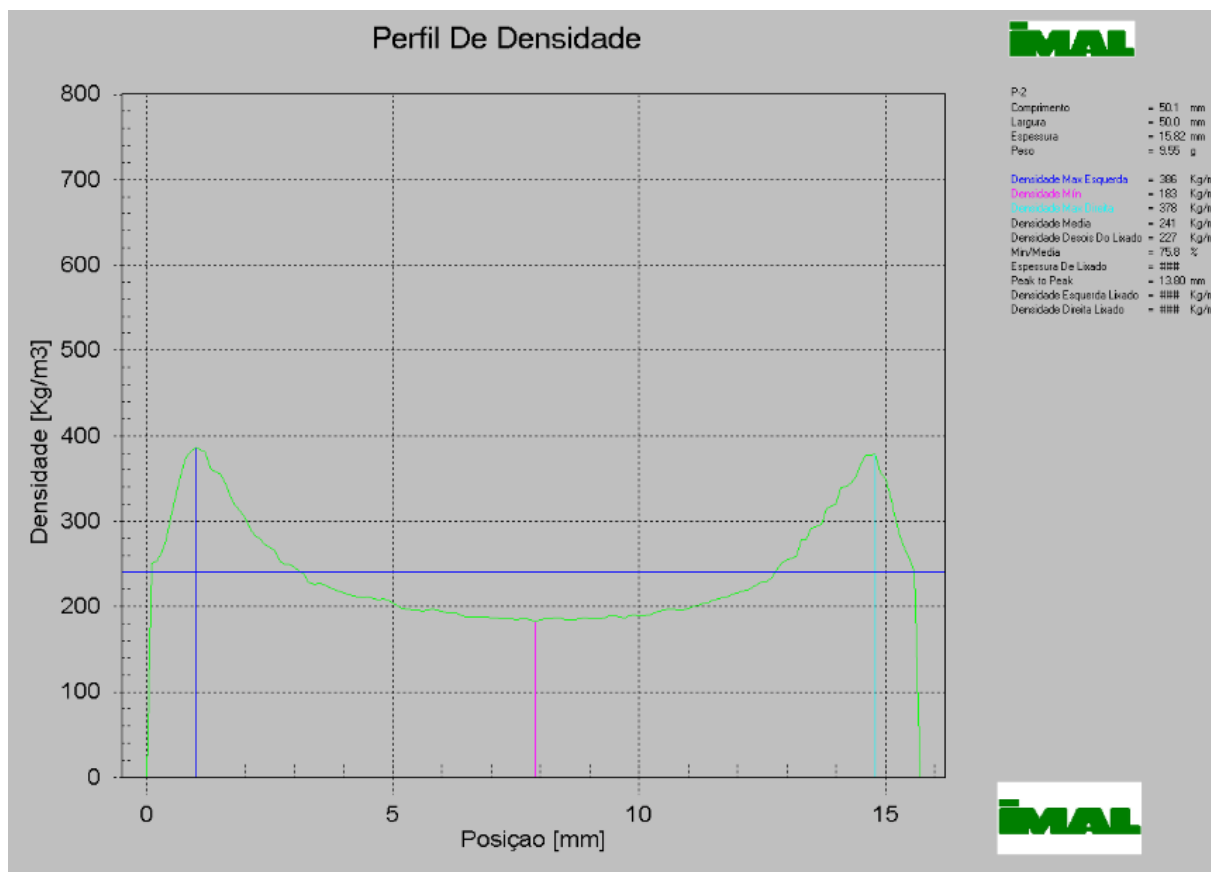


Fig. 29 - Perfil de densidade do ensaio D

Tab. 4.8 - Dados gerais e propriedades físico-mecanicas de um painel com 2% de MDI, ensaio D

Designação (ensaio)	D
Espessura (mm)	15,82
Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	241
Tracção (N/mm <sup>2</sup> )	0,1
Inchamento 24 h (%)	9,2
Absorção 24 h (%)	86,3
Humidade (%)	5,4
MOR (N/mm <sup>2</sup> )	5,285
MOE (N/mm <sup>2</sup> )	560

O perfil de densidade do produto obtido apresenta uma variação de densidade progressiva e uniforme, com uma densidade média de 241 kg/m<sup>3</sup> e com uma densidade mínima de 183 kg/m<sup>3</sup>. A densidade de caras é de 380 kg/m<sup>3</sup>, com um aspecto bastante largo, o que implica que o material apresentou alguma contra-pressão e de forma progressiva.

Pode-se verificar que a tracção obtida apresenta uma melhoria considerável quando comparada com qualquer dos ensaios anteriores (0,1 N/mm<sup>2</sup>), e apesar de ser um valor que impede uma mecanização directa da placa, é perfeitamente viável como placa isolante ou de recheio em aplicações de painel composto. A placa apresentou um aspecto de fibras coesas, com uma superfície aceitavelmente lisa. O inchamento foi baixo (9,2%), e a absorção foi de 86,3%, um valor muito mais baixo que nos demais ensaios, demonstrando uma boa resistência a absorção de água.

#### **Ensaio E - painel com fibra encolada com 11% de cola FU e adição de 4% de MDI**

Neste ensaio mantiveram-se as condições do ensaio anterior, duplicando-se a quantidade de MDI adicionado (tabela 4.9). O painel obtido apresenta o perfil de densidade contido na Fig. 30.

Tab. 4.9 - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de MDI, ensaio E

<b>Designação (ensaio)</b>	<b>E</b>
<b>Fibra Encolada (g)</b>	1084
<b>Solução de catalisador (g)</b>	100
<b>Água (g)</b>	78
<b>MDI (g)</b>	41

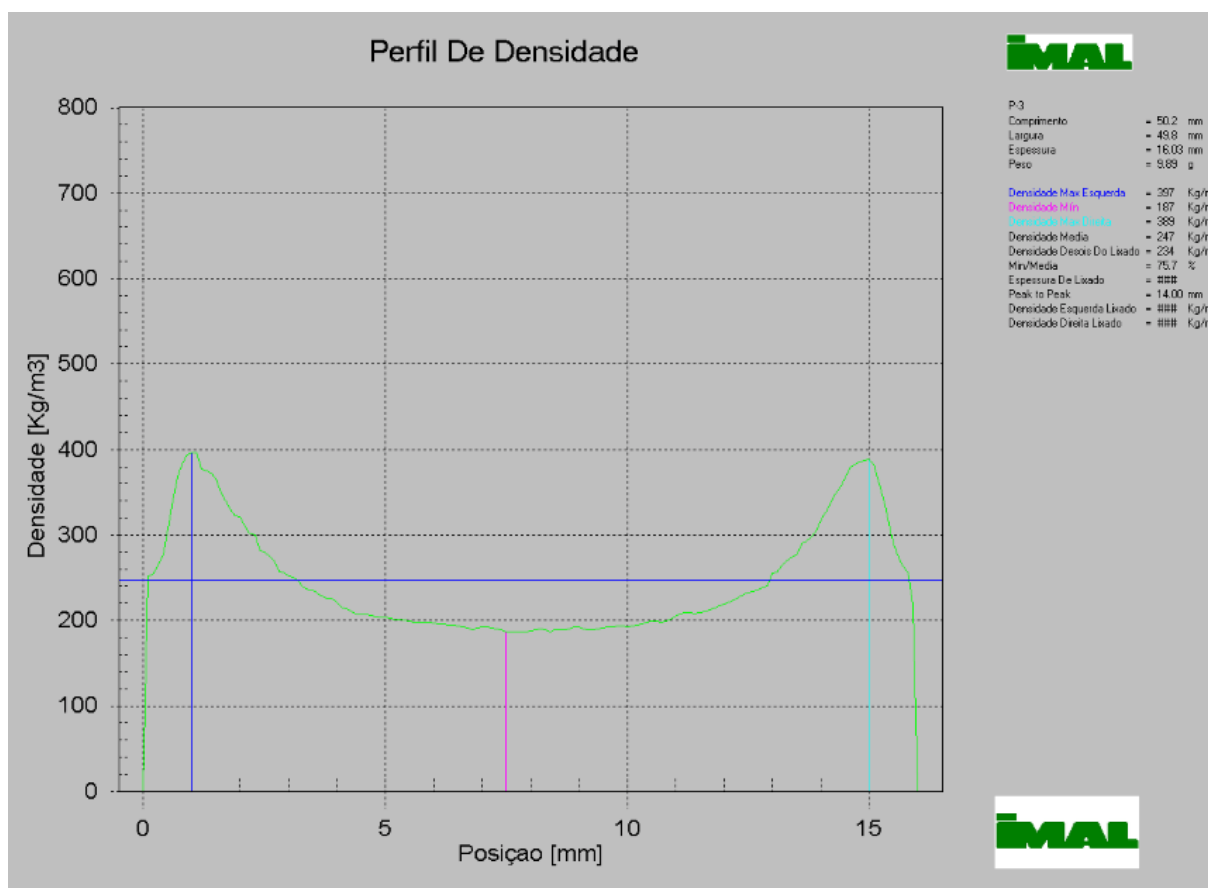


Fig. 30 - Perfil de densidade do ensaio E

Os resultados dos ensaios físico-mecanicos feitos a esta placa são apresentados na seguinte tabela 4.10.

Tab. 4.10 - Dados gerais e propriedades físico-mecanicas de um painel com 4% de MD, ensaio E.

Designação (ensaio)	E
Espessura (mm)	16,03
Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	247
Tracção (N/mm <sup>2</sup> )	0,12
Inchamento 24 h (%)	8,8
Absorção 24 h (%)	77,6
Humidade (%)	5,6
MOR (N/mm <sup>2</sup> )	8,475
MOE (N/mm <sup>2</sup> )	744,5

O perfil de densidade do produto obtido apresenta um traçado semelhante ao ensaio anterior com uma variação de densidade progressiva e uniforme, apresentando uma densidade média de 247 kg/m<sup>3</sup> e com uma densidade mínima de 187 kg/m<sup>3</sup>. A densidade de caras ronda os 390 kg/m<sup>3</sup>, com um aspecto bastante largo o que implica que este material apresentou contra-pressão e de forma progressiva.

A tracção obtida apresenta um valor que já se consideraria aceitável, já que habitualmente aceita-se uma tolerância de 0,03 N/mm<sup>2</sup> como plausível e não se fazendo acertos na dosificação de cola com estas condições, sendo que esta placa já teria as condições que nos propúnhamos obter com este trabalho. A placa apresentou um aspecto de fibras coesas, com uma superfície lisa. O inchamento foi baixo (8,8%), assim como a absorção, que foi de 77,6%, reforçando a tendência de estes painéis apresentarem uma boa resistência a absorção de água.

#### **Ensaio F- painel com fibra encolada com 11% de cola FU e adição de 6% de MDI**

Este ensaio foi feito para comprovar a eficiência da resina de MDI, aumentando-se a dosificação numa proporção idêntica ao aumento entre os ensaios A e B, estando a relação de materiais utilizados na tabela 4.11. O painel obtido apresenta o perfil de densidade contido na Fig. 31.

Tab. 4.11 - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 6% de MDI, ensaio F

<b>Designação (ensaio)</b>	<b>F</b>
<b>Fibra Encolada (g)</b>	1064
<b>Solução de catalisador (g)</b>	100
<b>Água (g)</b>	78
<b>MDI (g)</b>	61

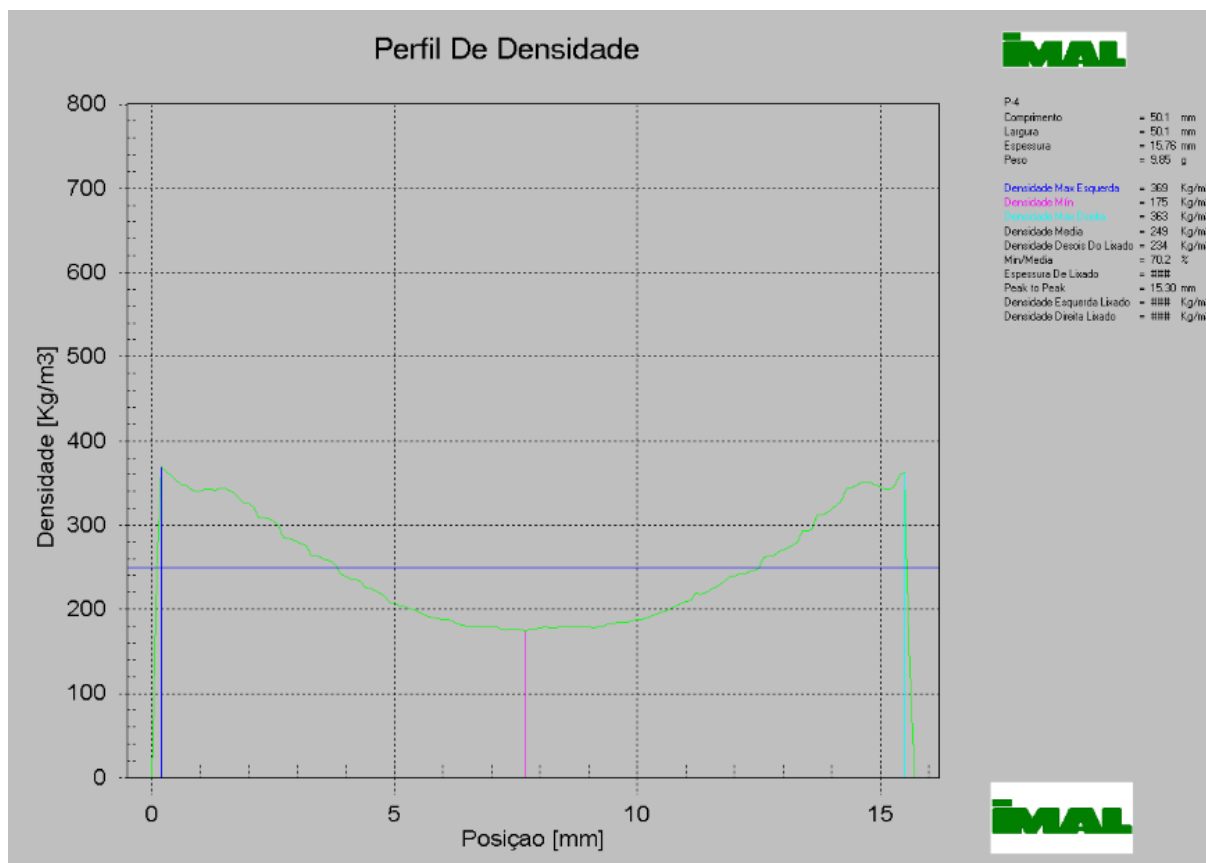


Fig. 31 - Perfil de densidade do ensaio F

Os resultados dos ensaios físico-mecânicos feitos a esta placa são apresentados na tabela 4.12.

Tab. 4.12 - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 6% de MDI, ensaio F

Designação (ensaio)	F
Espessura (mm)	15,76
Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	249
Tracção (N/mm <sup>2</sup> )	0,2
Inchamento 24 h (%)	7,1
Absorção 24 h (%)	68,7
Humidade (%)	5,5
MOR (N/mm <sup>2</sup> )	10,305
MOE (N/mm <sup>2</sup> )	858

O perfil de densidade do produto obtido apresenta um traçado nitidamente diferente dos anteriores, a progressão do perfil é bastante mais progressiva, não existindo uma diferenciação tão nítida das caras, indicando uma contra-pressão que “nasceu” do interior da placa. A densidade média desta placa é de 249 kg/m<sup>3</sup> e com uma densidade

mínima de 175 kg/m<sup>3</sup>. A densidade de caras ronda os 365 kg/m<sup>3</sup> e, tal como já foi comentado, não existe uma diferenciação bem perceptível do início das caras.

A tracção obtida apresenta um valor que já se consideraria superior às condições que nos propúnhamos obter com este trabalho. A placa apresentou um aspecto de fibras coesas, com uma superfície lisa. O inchamento foi baixo (7,1%), assim como a absorção que foi de 68,7%, reforçando uma vez mais a tendência de estes painéis apresentarem uma boa resistência a absorção de água.

Feita esta análise e considerando que utilizando fibra encolada e posteriormente adicionar MDI a este material já encolado se tinham encontrado condições efectivas para produzir painéis dentro das especificações propostas com este trabalho, decidiu-se testar se realmente a fibra já estar previamente encolada com colas de FU tinha de facto eficácia e se existia uma acção efectiva deste tipo de colas.

Deste modo decidiu-se manter a concentração de MDI constante em 4% e adicionar dosificações diferentes da resina FU habitualmente utilizada na empresa no processo produtivo.

#### **Ensaio G - adição de 4 % de MDI**

Para estes ensaios a fibra teve de ser recolhida logo à saída do desfibrador (antes de ser encolada no processo industrial) onde tem uma humidade enorme, originada pelo próprio processo produtivo. Esta fibra foi seca em estufas, mas por limitações técnicas não se conseguiu atingir uma humidade baixa no material, e verificou-se que a fibra não tinha uma humidade homogénea, variando de zona para zona.

O ensaio consistiu em adicionar 4% de MDI, conforme tabela 4.13. O painel obtido apresentou o perfil de densidade contido na Fig. 32.

Tab. 4.13 - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de MDI, ensaio G.

<b>Designação (ensaio)</b>	<b>G</b>
<b>Fibra Total (g)</b>	1204
<b>Solução de catalisador (g)</b>	0
<b>Humidade resultante (%)</b>	17
<b>MDI (g)</b>	71,7

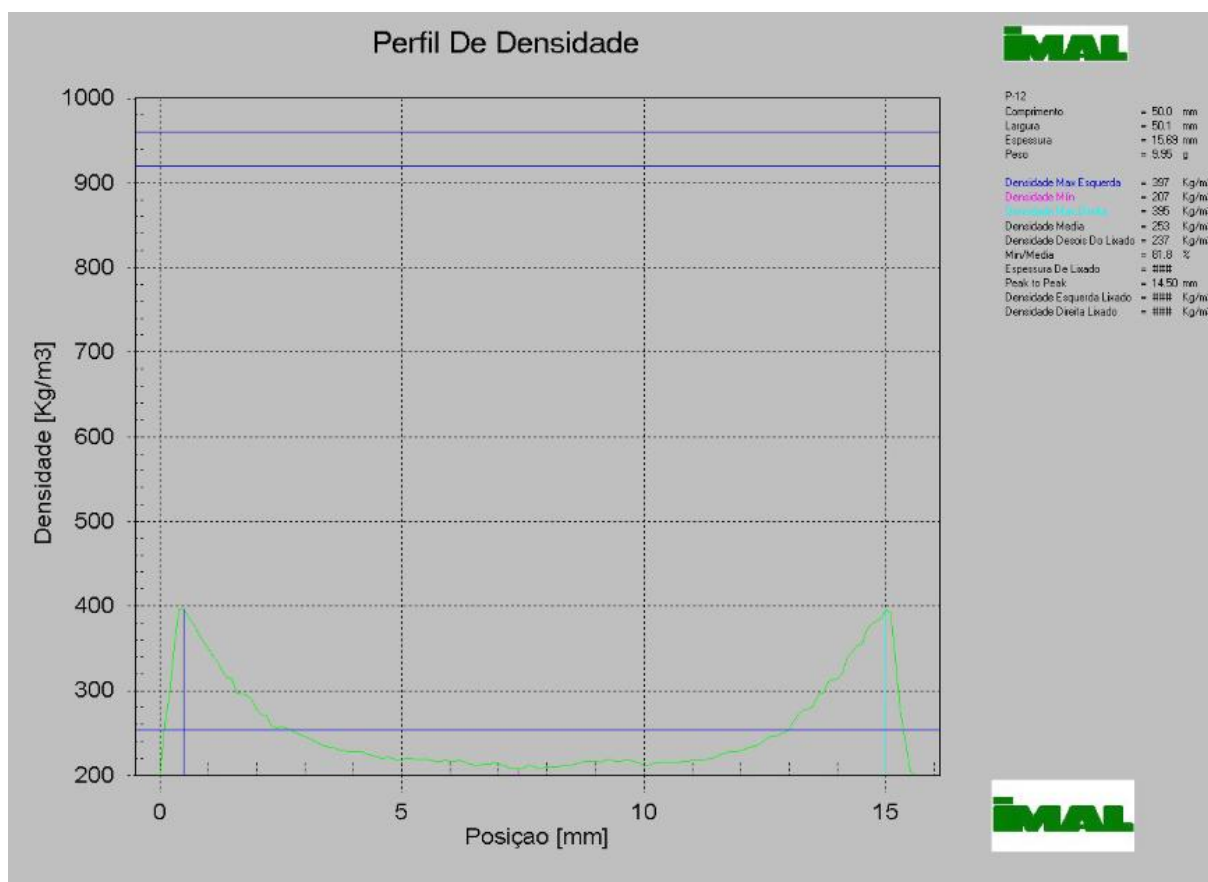


Fig. 32 - Perfil de densidade do ensaio G

Os resultados dos ensaios físico-mecânicos feitos a esta placa são apresentados na tabela 4.14.

Tab. 4.14 - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 4% de MDI, ensaio G

Designação (ensaio)	G
Espessura (mm)	15,66
Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	236
Tracção (N/mm <sup>2</sup> )	0,1
Tracção superficial (N/mm <sup>2</sup> )	0,3/0,34
Inchamento 24 h (%)	7,8
Absorção 24 h (%)	69,5
Humidade final (%)	5,9

O perfil de densidade do produto obtido apresenta um traçado semelhante ao do ensaio E, mas com um vale menos acentuado, com uma variação de densidade progressiva e uniforme, apresentando uma densidade média de 253 kg/m<sup>3</sup> e com uma densidade mínima de 207 kg/m<sup>3</sup>. A densidade de caras ronda os 395 kg/m<sup>3</sup>, e também com um aspecto bastante largo o que implica que este material apresentou contra-pressão e de forma progressiva.

A tracção obtida apresenta um valor inferior às condições que nos propúnhamos obter com este trabalho é insuficiente para esta placa poder ser utilizada nas aplicações de primeira transformação. A placa apresentou um aspecto de fibras coesas, com uma superfície lisa. O inchamento foi baixo (7,8%), assim como a absorção que foi de 69,5%, demonstrando uma vez mais a tendência de estes painéis apresentarem uma boa resistência a absorção de água.

#### **Ensaio H - MDI constante a 4% e adição de 5% de FU-1092**

Mantendo-se constante a dosificação de MDI adicionou-se 5% (sobre fibra seca) de resina FU-1092 (tabela 4.15). O painel obtido apresentou o perfil de densidade contido na Fig. 33.

Tab. 4.15 - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de MDI e 5% de FU-1092, ensaio H.

<b>Designação (ensaio)</b>	<b>H</b>
<b>Fibra Total (g)</b>	1151
<b>Solução de catalisador (g)</b>	100
<b>Humidade resultante (%)</b>	21
<b>Resina FU-1092 (g)</b>	85,7
<b>MDI (g)</b>	68,5

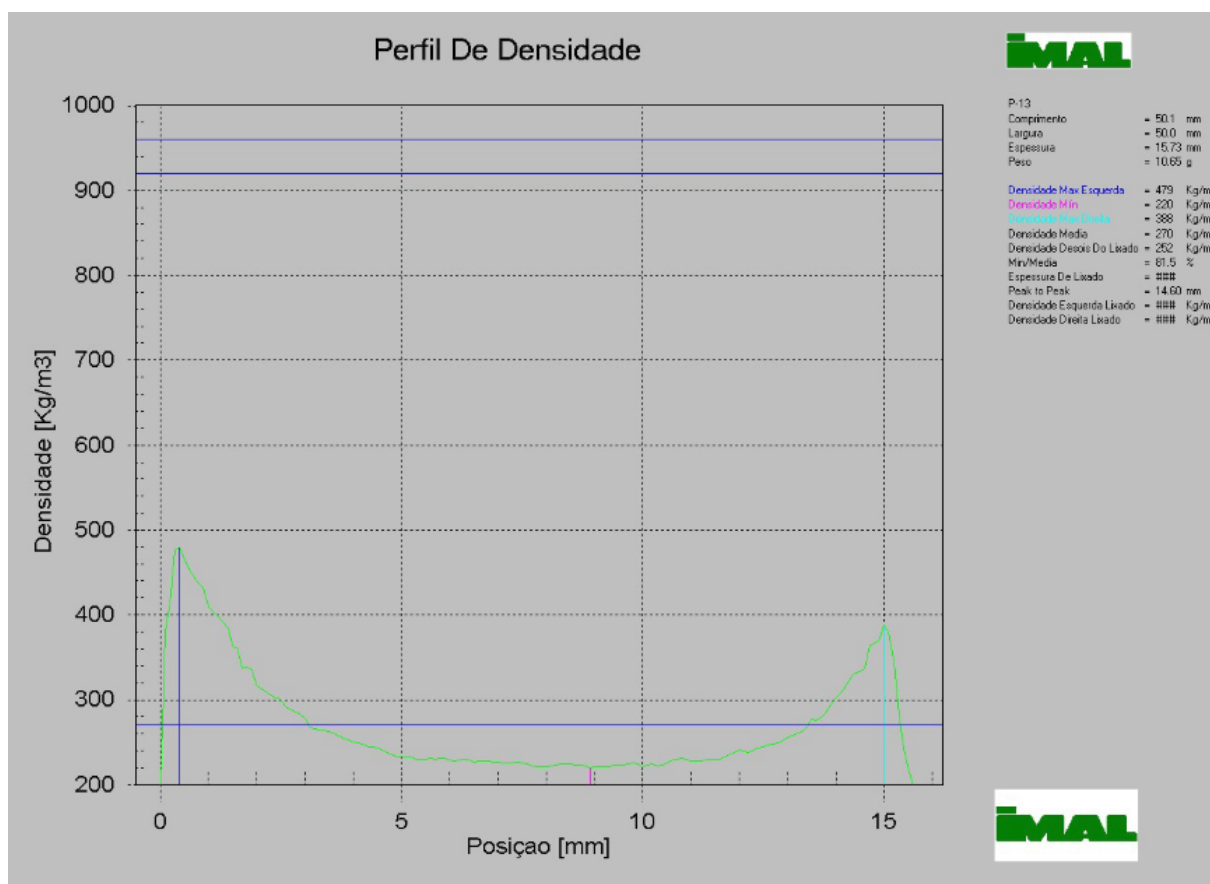


Fig. 33 - Perfil de densidade do ensaio H.

Os resultados dos ensaios físico-mecânicos feitos a esta placa são apresentados na tabela 4.16.

Tab. 4.16 - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 4% de MDI e 5% de FU-1092, ensaio H.

Designação (ensaio)	H
Espessura (mm)	15,65
Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	270
Tracção (N/mm <sup>2</sup> )	0,09
Tracção superficial (N/mm <sup>2</sup> )	0,38/0,36
Inchamento 24 h (%)	7,5
Absorção 24 h (%)	105,5
Humidade final (%)	6,2

Obteve-se um perfil algo descompensado, com uma cara mais densa que outra. As caras não apresentaram um aspecto tão largo como o ensaio anterior, com uma densidade de 479 e 388 kg/m<sup>3</sup>. A densidade média obtida foi de 270 kg/m<sup>3</sup> e a densidade mínima foi de 220 kg/m<sup>3</sup>, apresentando portanto um diferencial de 50 kg/m<sup>3</sup> entre as densidades média e mínima.

A tracção obtida foi praticamente igual ao ensaio anterior, demonstrando que esta adição de resina FU-1092 não tem impacto no grau de colagem das fibras de madeira, sendo, tal como no ensaio anterior, um valor inferior às condições que nos propúnhamos obter com este trabalho e insuficiente para esta placa poder ser utilizada nas aplicações de primeira transformação. A placa apresentou um aspecto de fibras coesas, com uma superfície lisa. O inchamento foi baixo (7,5%), mas a absorção deu bastante superior a tendência que se vinha a verificar nos painéis com a cola de MDI apresentando um valor de 105,5%.

#### **Ensaio I - MDI constante a 4% e adição de 8% de FU-1092**

Mantendo-se constante a dosificação de MDI adicionou-se 8% de resina FU-1092 (tabela 4.17). O painel obtido apresentou o perfil de densidade contido na Fig. 34.

Tab. 4.17 - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de MDI e 8% de FU-1092, ensaio I

<b>Designação (ensaio)</b>	<b>I</b>
<b>Fibra Total (g)</b>	1122
<b>Solução de catalisador (g)</b>	100
<b>Humidade resultante (%)</b>	20,5
<b>Resina FU-1092 (g)</b>	133,5
<b>MDI (g)</b>	66,8

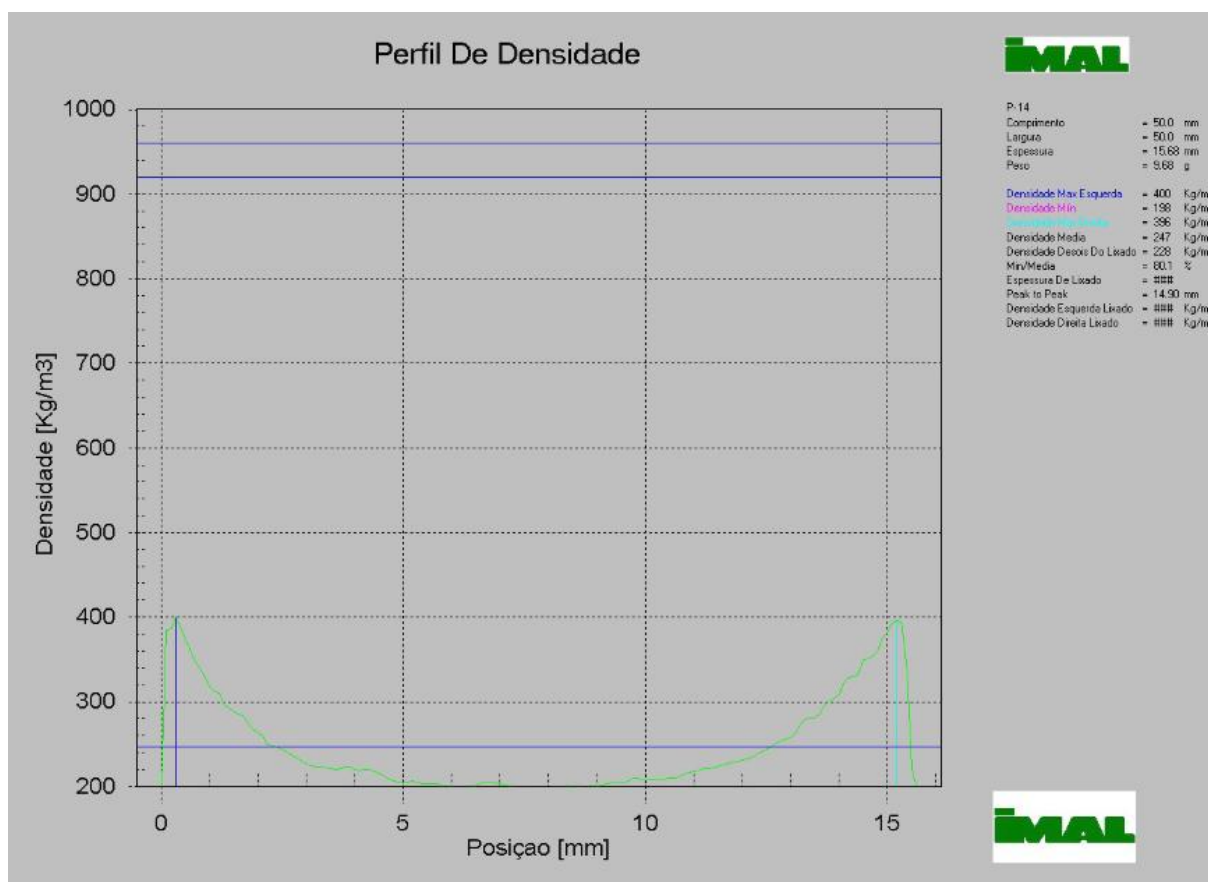


Fig. 34 - Perfil de densidade do ensaio I

Os resultados dos ensaios físico-mecânicos feitos a esta placa são apresentados na tabela 4.18.

Tab. 4.18 - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 4% de MDI e 8% de FU-1092, ensaio I.

Designação (ensaio)	I
Espessura (mm)	15,61
Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	274
Tracção (N/mm <sup>2</sup> )	0,1
Tracção superficial (N/mm <sup>2</sup> )	0,33/0,43
Inchamento 24 h (%)	6,9
Absorção 24 h (%)	145,3
Humidade final (%)	6,2

O perfil de densidade do produto obtido apresenta um traçado progressivo e equilibrado, com uma variação de densidade uniforme, apresentando uma densidade média de 247 kg/m<sup>3</sup> e com uma densidade mínima de 198 kg/m<sup>3</sup>, apresentando um diferencial de 49

kg/m<sup>3</sup> entre as densidades média e mínima. A densidade de caras ronda os 398 kg/m<sup>3</sup>, e com um aspecto relativamente largo.

A tracção obtida foi praticamente igual ao ensaio anterior, demonstrando que esta adição de resina FU-1092 de forma praticamente imediata com a adição de MDI não tem impacto no grau de colagem das fibras de madeira, sendo, tal como no ensaio anterior, um valor inferior às condições que nos propúnhamos obter com este trabalho e insuficiente para esta placa poder ser utilizada nas aplicações de primeira transformação. A placa apresentou um aspecto de fibras coesas, com uma superfície lisa. O inchamento foi baixo (6,9%), mas a absorção deu bastante superior a tendência que se vinha a verificar nos painéis com a cola de MDI, inclusive superior ao ensaio anterior, apresentando um valor de 145,3%.

#### **Ensaio J - MDI constante a 4% e adição de 11% de FU-1092**

Mantendo-se constante a dosificação de MDI adicionou-se 11% (sobre fibra seca) de resina FU-1092 (tabela 4.19). O painel obtido apresentou o perfil de densidade contido na Fig. 35.

Tab. 4.19 - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 4% de MDI e 11% de FU-1092, ensaio J.

<b>Designação (ensaio)</b>	<b>J</b>
<b>Fibra Total (g)</b>	1094
<b>Solução de catalisador (g)</b>	100
<b>Humidade resultante (%)</b>	17,1
<b>Resina FU-1092 (g)</b>	179,0
<b>MDI (g)</b>	65,1

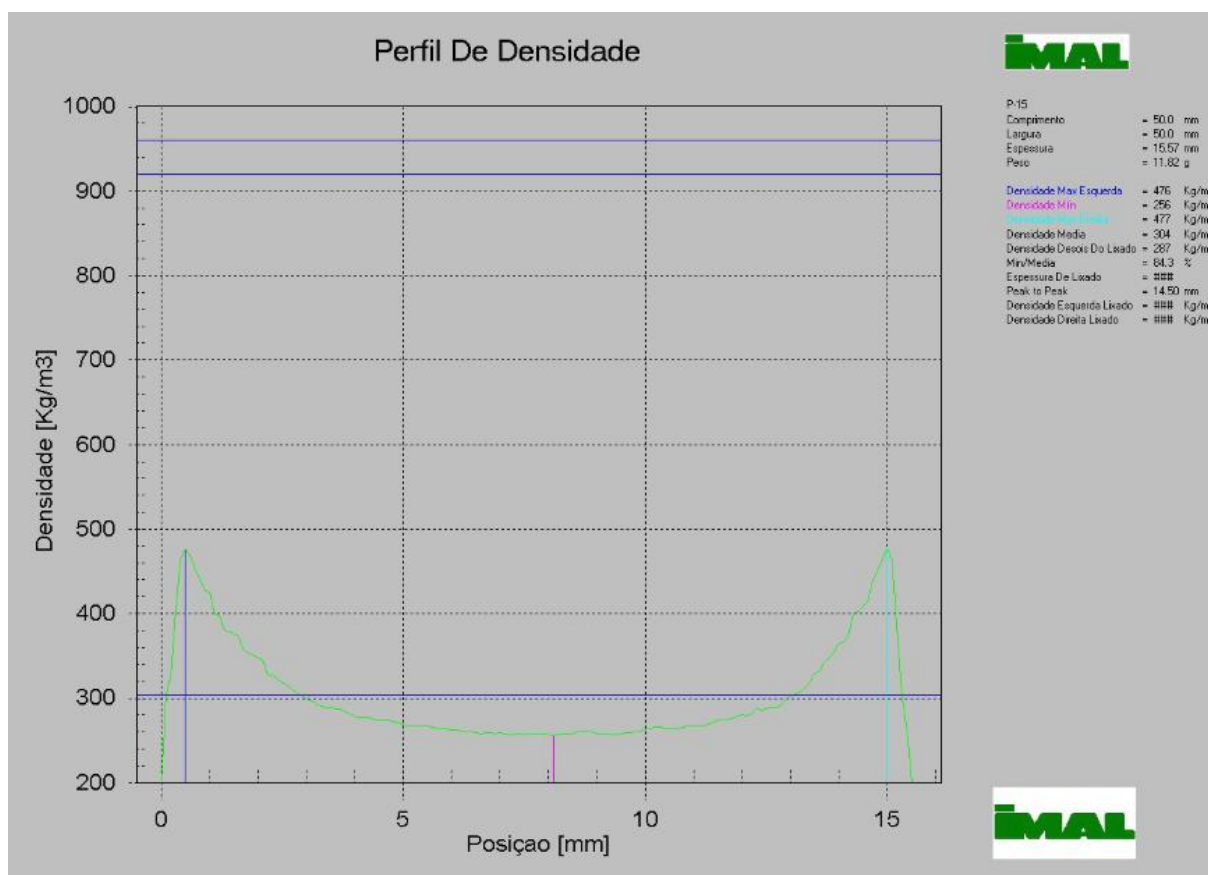


Fig. 35 - Perfil de densidade do ensaio J.

Os resultados dos ensaios físico-mecânicos feitos a esta placa são apresentados na tabela 4.20.

Tab. 4.20 - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 4% de MDI e 11% de FU-1092, ensaio J.

Designação (ensaio)	J
Espessura (mm)	15,58
Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	283
Tracção (N/mm <sup>2</sup> )	0,13
Tracção superficial (N/mm <sup>2</sup> )	0,46/0,44
Inchamento 24 h (%)	7,9
Absorção 24 h (%)	93,5
Humidade final (%)	6,2

O perfil de densidade do produto obtido apresenta um traçado progressivo e equilibrado, com uma variação de densidade uniforme, apresentando uma densidade média de 304 kg/m<sup>3</sup>, bastante superior ao esperado, e com uma densidade mínima de 256 kg/m<sup>3</sup>,

apresentando um diferencial de  $48 \text{ kg/m}^3$  entre as densidades média e mínima. A densidade de caras ronda os  $477 \text{ kg/m}^3$ , valor elevado e indicativo de boas propriedades mas que foi originado pela contra-pressão elevado do produto.

A tracção obtida foi ligeiramente superior ao ensaio anterior e já poderia ser considerado um valor aceitável, mas do historial de ensaios retiramos que necessitamos de adicionar 11% de resina FU-1092 para conseguir um ganho de  $0,03 \text{ N/mm}^2$ , o que resulta num incremento de 3%, demonstrando que esta adição de resina FU-1092 de forma praticamente imediata com a adição de MDI não tem um impacto relevante no grau de colagem das fibras de madeira. Também se pode concluir, comparando com o ensaio E, que a fibra encolada antecipadamente com resina FU ou encolada simultaneamente com a resina de FU e MDI não tem relevância.

A placa apresentou um aspecto de fibras coesas, com uma superfície lisa. O inchamento foi baixo (7,9%), e a absorção diminui bastante em relação a tendência que se vinha a verificar, apresentando um valor de 93,5%.

#### **Ensaio L - MDI constante a 8%**

Verificando-se o baixo desempenho da resina FU-1092 optou-se por fazer um ensaio com um elevado teor de MDI para ver o impacto que teria na colagem das fibras de madeira (tabela 4.21). O painel obtido apresentou o perfil de densidade contido na Fig. 36.

Tab. 4.21 - Relação de materiais utilizados para a preparação da amostra com 8% de MDI, ensaio L.

<b>Designação (ensaio)</b>	<b>L</b>
<b>Fibra Total (g)</b>	1161
<b>Solução de catalisador (g)</b>	0
<b>Humidade resultante (%)</b>	10,8
<b>Resina FU-1092 (g)</b>	0,0
<b>MDI (g)</b>	138,3

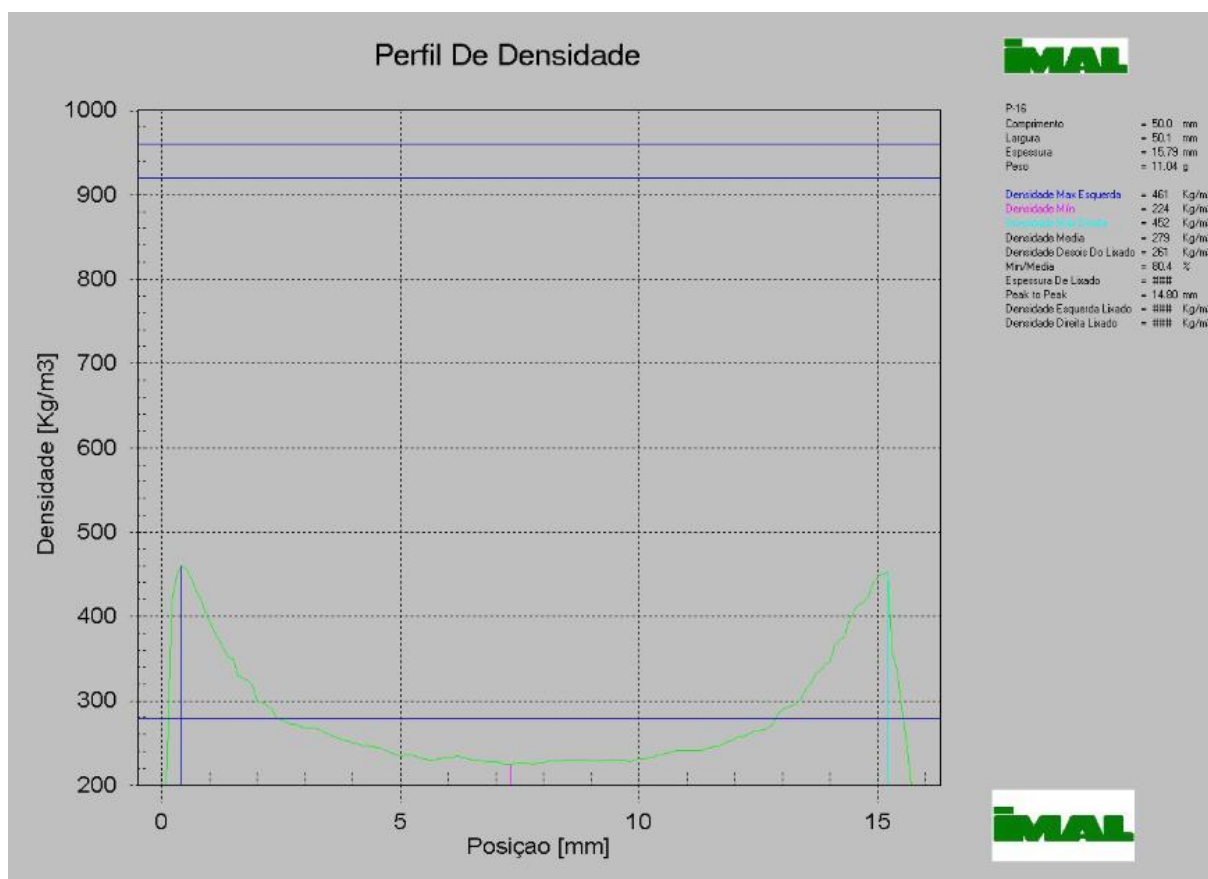


Fig. 36 - Perfil de densidade do ensaio L.

Os resultados dos ensaios físico-mecânicos feitos a esta placa são apresentados na tabela 4.22.

Tab. 4.22 - Dados gerais e propriedades físico-mecânicas de um painel com 8% de MDI, ensaio L.

Designação (ensaio)	L
Espessura (mm)	15,75
Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	283
Tracção (N/mm <sup>2</sup> )	0,19
Tracção superficial (N/mm <sup>2</sup> )	0,65/0,64
Inchamento 24 h (%)	5,9
Absorção 24 h (%)	67,1
Humidade final (%)	6,5

O perfil de densidade do produto obtido apresenta um bom traçado, com uma progressão constante e equilibrada, com uma variação de densidade uniforme, apresentando uma densidade média de 279 kg/m<sup>3</sup> e com uma densidade mínima de 224 kg/m<sup>3</sup>,

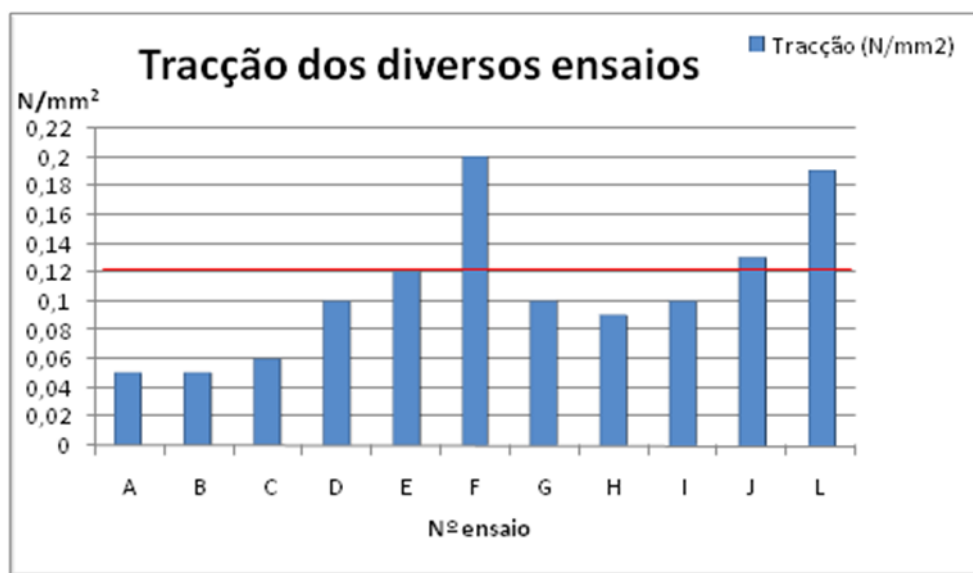
apresentando um diferencial de  $55 \text{ kg/m}^3$  entre as densidades média e mínima. A densidade de caras ronda os  $455 \text{ kg/m}^3$ , valor elevado e indicativo de boas propriedades de superfície.

A tracção obtida foi notoriamente superior aos ensaios anteriores, sendo um valor que supera largamente os que nos propúnhamos obter. A placa apresentou um aspecto de fibras coesas, com uma superfície lisa. O inchamento foi baixo (5,9%), e a absorção diminuiu bastante em relação a tendência que se vinha a verificar, apresentando um valor de 67,1%.

## 4.3 - DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 4.3.1 - Comparação de propriedades físico-mecânicas

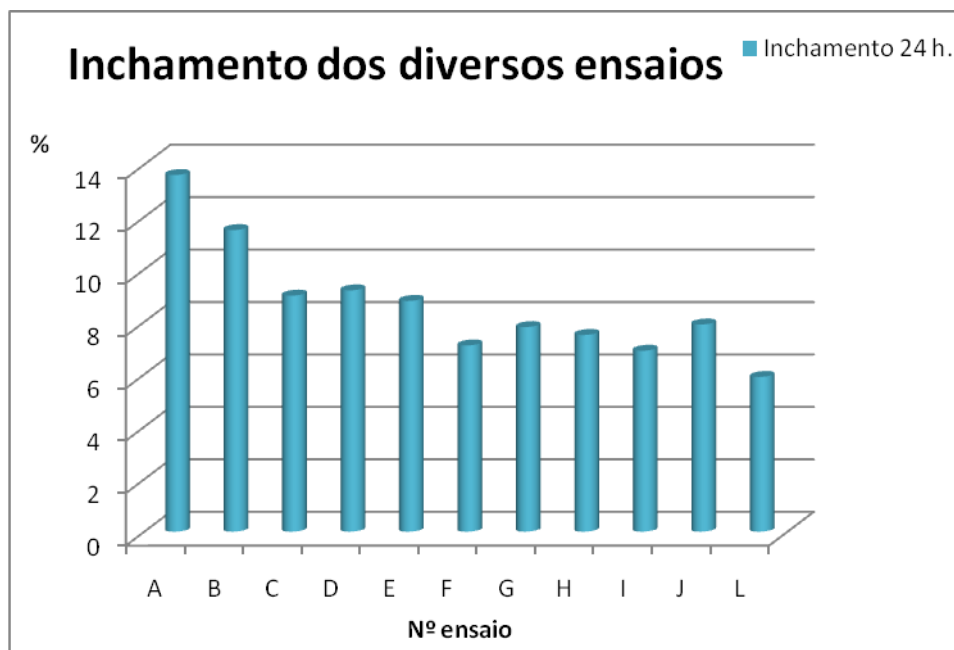
Sendo a tracção das placas o parâmetro mais controlado na indústria de produção de painéis à base de madeira, começamos por fazer uma análise desta característica físico mecânica nos diversos painéis obtidos (gráfico 4.1).



Gráf. 4.1 - Valores de tracção obtidos nos diversos ensaios.

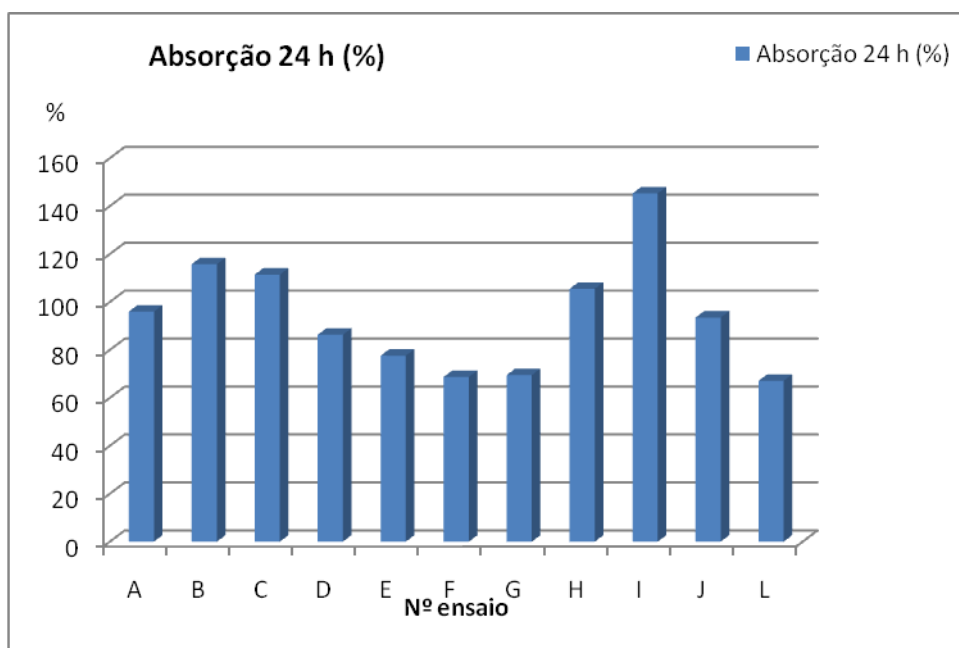
É bem visível que o valor que nos propúnhamos atingir neste trabalho foi obtido nos ensaios E, F, J e L, sendo estes os ensaios que se considerariam viáveis para produzir painel de madeira de baixa densidade. Assim, estes painéis apresentam uma resistência mecânica que permite uma primeira transformação ou mecanização directa.

Outro dado que resultou interessante foi o baixo inchamento destes painéis. Geralmente, ao terem tracções inferiores ao painel padrão (anexo V), as fibras de madeira não apresentam o mesmo grau de coesão dando valores de inchamento muito superiores aos do painel corrente. Como se pode ver no anexo III, o inchamento que se garante para este tipo de painel nestas espessuras é de 12%. Era expectável um inchamento superior nestes painéis pelas razões apontadas acima, e no painel de amostra padrão o inchamento foi de 13,6%. Contudo, verificou-se que os inchamentos eram baixos de um modo geral, especialmente nos ensaios com MDI (gráfico 4.2).



Gráf. 4.2 - Valores de inchamento obtidos nos diversos ensaios

Verifica-se que, de um modo geral, os painéis com 4% de MDI apresentam um inchamento entre 6 e 8%. Também se verifica um comportamento análogo no que diz respeito a absorção de água por parte do painel (gráfico 4.3).



Gráf. 4.3 - Valores de absorção obtidos nos diversos ensaios.

Deste modo, pode-se concluir que os painéis com resina de MDI têm um elevado comportamento hidrófobo, caso dos ensaios D, E, F e G. Contudo, é notório um incremento da absorção de água nos ensaios H, I e J, o que nos leva a concluir que apesar da sequência de adição de colas, MDI e FU, não interferir no valor de tracção, a resistência à penetração de água é muito inferior nos ensaios em que se adiciona primeiro MDI e posteriormente cola FU.

Assim, obtiveram-se 4 ensaios viáveis a nível de propriedades físico-mecânicas:

Ensaio E - painel com fibra encolada com 11% de cola FU e com 4% de MDI

Ensaio F - painel com fibra encolada com 11% de cola FU e com 6% de MDI

Ensaio J - amostra com 4% de MDI e 11% de FU-1092 (semelhante em componentes ao E mas obtido de forma diferente)

Ensaio L - painel com apenas 8% de MDI

Estes painéis apresentaram também propriedades de resistência à humidade muito acima do esperado.

### 4.3.2 - Breve estimativa de custos

Para esta estimativa vamos apenas entrar em conta com os consumos de matéria-prima e fazer alguns comentários acerca de outras variáveis, fazendo uma comparação com o painel de qualidade habitual.

Em todos os painéis temos uma diminuição significativa no consumo de madeira, dada a diminuição na densidade do painel de 750 para 250 kg/m<sup>3</sup>, existindo alguma variação com o valor de dosificação de cola. No cálculo feito assume-se o preço médio de compra do 1º quadrimestre de 2010. Por outro lado, assumimos que o MDI resulta completamente em 100% de massa reactiva que fica incorporada no painel e o preço médio de compra é de 1,90 €/kg. Deste modo obtemos os resultados apresentados na tabela 4.23.

Tab. 4.23 - Comparação de custos de matérias-primas entre ensaios considerados viáveis e o material padrão

Ensaio	E	F	J	L
Dosificação de MDI	4%	6%	4%	8%
Poupança madeira (€/m <sup>3</sup> )	15,55	15,80	15,57	15,17
Incremento custo MDI (€/m <sup>3</sup> )	19	28,5	19	38
Comparação com painel STD (€/m <sup>3</sup> )	3,45	12,70	3,43	22,83

Pode-se verificar que o painel com uma dosificação de 4% de MDI apresenta um custo de produção de +3,45 €/m<sup>3</sup> quando comparado com painel padrão. Por outro lado, a baixa densidade deste produto vai exigir menos temperatura nas prensas, o que vai resultar em poupança de energia térmica; ao mesmo tempo, esta baixa densidade vai permitir ao painel desgaseificar mais rapidamente, aumentando a cadência de produção, que se vai traduzir numa diminuição dos custos fixos.

## 5 - CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO

Após a análise dos resultados obtidos é possível concluir que dos compostos estudados apenas os painéis com cola de metildifenildiisocianato e com uma dosificação aproximada ou superior a 4% seriam viáveis para a obtenção do tipo de produto proposto neste trabalho, utilizando fibra de madeira encolada com 11% de cola formaldeído ureia.

A adição da cola FU pode ser feita antes ou depois da adição da cola de MDI, sendo que a ordem desta adição não influencia os resultados.

Os ensaios que não foram considerados viáveis para as aplicações propostas apresentam características acima da média dos painéis utilizados como painel de recheio em painel sanduíche para aplicações de isolamento térmico e acústico.

Em resumo, consegue-se obter um painel de características especiais a um custo ligeiramente superior ao de um painel padrão. Os valores obtidos para tracção e módulos de flexão (MOR) são muito inferiores ao do painel padrão, pelo que não se poderiam utilizar nas mesmas aplicações, mas, nas aplicações onde a indústria de mobiliário e afins utiliza painéis leves, este seria um produto revolucionário e com um largo leque de aplicações.

Em relação a uma possível continuidade deste estudo, seria interessante explorar as potencialidades do MDI e obter um painel leve e com características hidrófobas. Também seria interessante averiguar o tempo de vida do MDI depois de encolado (período de tempo em que a cola continua activa e vai conseguir unir de forma coesa as fibras de madeira). Outro aspecto importante seria tentar obter painéis tri-capa, e verificar a influência das características da capa externa no produto final. Por fim, também seria interessante explorar outros MDI mais baratos existentes no mercado.

## Referências Bibliográficas

1. Tsoumis, G., Science and technology of wood, Van Nostrand Reinhold, 1991  
  
Chapter 21. Adhesion and adhesives, pp. 327-338
2. USDA, Forest Products Laboratory. Wood handbook. Wood as an engineering material  
  
Gen. Tec. Rep. FPL-GTR-113, Madison, 1999.  
  
Chapter 9. Adhesive Bonding of Wood Materials, pp. 9-1 a 9-24  
  
<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr113/fplgtr113.pdf>
3. McCaffery, E. M., Laboratory Properties for Macromolecular Chemistry, McGraw Hill Book Company, 1970
4. Malcolm, P.S., Polymer chemistry an introduction, Addison-Wesley Publishing Company Inc. 1975
5. Billmeyer, F. W Jr., Textbook of Polymer Science, 2<sup>a</sup> ed., Jonh Wiley & Sons, Inc. 1962
6. Sandler, S. R., Polymer Syntheses, Vol. 1, Academic Press, 1974
7. Zhang, Y.; Rodrigue, D.; Ait-kadi, A., High-density polyethylene foams I - polymer and foam characterization. Journal of applied Polymer science, 2003, 90.

8. Zhang, Y.; Rodrigue, D.; Ait-kadi, A., High-density polyethylene foams III - tensile properties foam characterization. *Journal of applied Polymer science*, 2003, 90.
  
9. Auger, J.; Nguyen, L., Using polymer characterization techniques to predict LDPE resin suitability for extruded foam applications. *Journal of Cellular Plastics* 37, 2001, p. 485-499
  
10. Simpson, K., Blowing agents update. *Plastics Additives & Compounding* Novembro/Dezembro 2003, p.28-30
  
11. Vilar, W.D. *Química e tecnologia de poliuretanos*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 1999
  
12. Klemperer, D.; Frisch K. C., *Handbook of polymeric foams and foam technology*, Hanser Publishers, New York, 1991.
  
13. Rabello, M, *Aditivação de acção de polímeros*. São Paulo: Artliber publishers, 2000.

# ANEXOS

# Anexo I

Ficha técnica da resina FU-1092



# FORESA

**FICHA TÉCNICA****FU 1092**

Data: Mar 2010

Revisão: 1

QE69

**Descrição do produto:**

Resina aminoplástica de Ureia-Formaldeído em base aquosa.

**Aplicações:**

Utiliza-se principalmente como adesivo para o fabrico de placas de derivados de madeira (MDF, aglomerado de partículas de madeira,...), destinados a utilização interior: mobiliário, construção, etc. Convenientemente formulada é adequada para a obtenção de qualidade **E-1**.

**Especificações:**

Análises realizadas sobre a resina recém fabricada segundo método de ensaio da BRESFOR.

	Unidade	Valor	Método ensaio
<b>Aspecto</b>		Líquido	
<b>Cor</b>		Branco	
<b>Viscosidade a 25°C</b>	mPa.s	80 - 180	QT030
<b>Densidade a 25°C</b>	Kg/m <sup>3</sup>	1270 - 1280	QT031
<b>pH a 25°C</b>		8,0 – 9,0	QT029
<b>Tempo de Gel a 100°C</b>	Seg.	40 - 90	QT033
<b>Conteúdo em sólidos</b>	%	63 - 65	QT079
<b>Vida útil a 20°C</b>		4 semanas	

**Indicações de uso:**

A resina FU 1092 deve ser utilizada em combinação com um catalisador e, caso seja necessário, podem ser incorporados outros aditivos previamente estudados: retardantes, captadores, cargas, água, etc. Verificar o teor em humidade do material encolado.

**Limpeza:**

A limpeza dos instrumentos de trabalho deve realizar-se com água ligeiramente aquecida antes que a resina se endureça.

**Armazenagem:**

A 20°C, a vida útil do produto armazenado é de 4 semanas (viscosidade menor que 550 mPa.s).

Durante a armazenagem, a viscosidade da resina aumenta. Este aumento de viscosidade é muito mais pronunciado quanto mais alta for a temperatura de armazenagem.

Recomenda-se uma temperatura de armazenagem de **16 – 20°C**.

A resina não deve estar exposta durante longos períodos a temperaturas superiores a 25°C. Desaconselha-se a utilização de uma resina que triplique a sua viscosidade inicial. A resina pode congelar por debaixo dos 0°C.

É aconselhável a total limpeza do tanque pelo menos 1 a 2 vezes por ano, assim como recircular a resina 1 vez por dia durante 15-30 minutos para a sua correcta homogeneização.



# FORESA

**FICHA TÉCNICA****FU 1092**

Data: Mar 2010

Revisão: 1

QE69

## Higiene e Segurança:

### Observações importantes:

Quando se enche de novo um tanque de armazenagem é obrigatório assegurar-se que o tanque não contém restos da resina anterior. Caso contrário, há um risco elevado de ocorrer uma má homogeneização entre ambas as resinas, ou mesmo que a resina antiga actue como catalisador da nova, reduzindo drasticamente a vida útil do conjunto.

A informação completa encontra-se na correspondente ficha de dados de segurança. Esta deve ser consultada antes de se começar a utilizar a resina.

A utilização das resinas de Aminoplasto Ureia – Formol, como é a FU 1092 pode provocar irritações em pessoas sensíveis.

É necessário uma boa ventilação do local e boas condições de higiene pessoal.

É recomendável utilizar-se luvas e óculos de protecção.

Em caso de contacto com a pele, deve-se lavar imediatamente com água e sabão.

Em caso de contacto com os olhos, passar imediata e abundantemente com água e consultar um médico.

A informação contida neste documento deve interpretar-se como indicação geral e é fornecida sem compromisso algum por parte do fornecedor. Deve ser adaptada a cada caso de utilização do produto. Os dados fornecidos baseiam-se no nosso actual conhecimento à data de redacção desta ficha. É responsabilidade do utilizador verificar com o nosso pessoal, e com antecedência ao uso do produto, que a edição que possui não tenha sido modificada por uma posterior.

**EXCLUSIVAMENTE PARA USO PROFISSIONAL.  
ANTES DE UTILIZAR O PRODUTO PARA USO NÃO PROFISSIONAL CONTACTAR COM O  
FORNECEDOR.**

# Anexo II

Ficha de segurança do MDI utilizado

# FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

**HUNTSMAN**

SUPRASEC® 1047

## 1. Identificación de la sustancia o preparado y de la sociedad o empresa

### Identificación de la sustancia o del preparado

Nombre del producto : SUPRASEC® 1047  
 Uso de la sustancia o preparado : Componente de un sistema de poliuretanos.

### Identificación de la sociedad o empresa

Proveedor : Huntsman Holland BV  
 Rozenburg Works  
 Merseyweg 10  
 Rotterdam  
 The Netherlands  
 Tel +31 181 29 91 11

Teléfono de emergencia : +32 35 75 1234

Dirección local de contacto : si existe, ver sección 16.

## 2. Composición/información sobre los componentes

Sustancia/preparado : Preparado

Nombre del ingrediente	Número CAS	%	Número CE	Clasificación
Diisocianato de difenilmetano, isómeros y homólogos	9016-87-9	60 - 100		Xn; R20 Xi; R36/37/38 R42/43
Isocyanatos, reaction product of polyol with methylenediphenyl diisocyanate		3 - 7		Xn; R20 Xi; R36/37/38 R42/43
Véase la sección 16 para el texto completo de las frases R mencionadas				

Los límites de exposición laboral, en caso de existir, figuran en la sección 8.

## 3. Identificación de los peligros

La preparación está clasificada como sustancia peligrosa conforme a la Directiva 1999/45/EC y sus enmiendas.

Clasificación : Xn; R20  
 Xi; R36/37/38  
 R42/43

Peligros físico-químicos : Reacciona lentamente con el agua, desprendiendo dióxido de carbono, que puede reventar los envases. Esta reacción se acelera a altas temperaturas.

Peligros para la salud humana : Nocivo por inhalación.  
 Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.  
 Posibilidad de sensibilización por inhalación y en contacto con la piel.  
 Este producto es un irritante respiratorio y un sensibilizador respiratorio potencial: la inhalación repetida de vapor o aerosol a concentraciones superiores al límite de exposición ocupacional podría causar sensibilización respiratoria. En personas sensibilizadas se puede desarrollar una respuesta hiperreactiva incluso a concentraciones mínimas de MDI. La aparición de los síntomas respiratorios puede retrasarse varias horas después de la exposición.

Consulte la sección 11 para obtener una información más detallada acerca de los efectos y síntomas sobre la salud.

## 4. Primeros auxilios

### Primeros auxilios

- Inhalación** : Si es inhalado, sacar al aire fresco. Si no respira, efectuar la respiración artificial. Obtenga atención médica inmediatamente. El tratamiento para una irritación primaria o un broncoespasmo es sintomático. Si la respiración es trabajosa, debe administrarse oxígeno por personal debidamente cualificado.
- Ingestión** : No inducir al vómito a menos que lo indique expresamente el personal médico. No suministrar nada por vía oral a una persona inconsciente. En el supuesto que el paciente esté consciente, lavar la boca con agua. Procurar asistencia médica si aparecen los síntomas.
- Contacto con la piel** : En caso de contacto con la piel, lávese inmediata y abundantemente con jabón y agua. Obtenga atención médica si se desarrolla irritación. Lavar la ropa antes de volver a usarla. Limpiar completamente el calzado antes de volver a usarlo. Un estudio relativo al MDI ha demostrado que un agente limpiador de la piel basado en un poliglicol o en aceite de maíz, puede ser más efectivo que jabón y agua.
- Contacto con los ojos** : En caso de contacto, lavar los ojos inmediatamente con agua abundante durante por lo menos 15 minutos. Obtenga atención médica inmediatamente.
- Protección del personal de primeros auxilios** : No debe realizarse acción alguna que suponga un riesgo personal o sin una formación adecuada. Si se sospecha que los vapores continúan presentes, la persona encargada del rescate deberá usar una máscara adecuada o un aparato de respiración autónoma. Sería peligroso a la persona que proporcione ayuda dar resucitación boca-a-boca.
- Notas para el médico** : Tratamiento sintomático y terapia de apoyo, según resulte indicado. Después de una exposición importante, el paciente debe permanecer bajo vigilancia médica durante por lo menos 48 horas.

Consulte la sección 11 para obtener una información más detallada acerca de los efectos y síntomas sobre la salud.

## 5. Medidas de lucha contra incendios

### Medios de extinción

- Apropiado(s)** : Use un agente de extinción adecuado para incendios circundantes.
- No apropiado(s)** : No se conoce ninguno.
- Peligros de exposición especiales** : No hay peligro específico.
- Productos de descomposición térmica peligrosos** : Los productos de combustión pueden incluir: óxidos de carbono (CO, CO<sub>2</sub>) óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub> etc) hidrocarburos y HCN
- Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios** : Los bomberos deben llevar equipo de protección apropiado y un equipo de respiración autónomo con una máscara facial completa que opere en modo de presión positiva. Deben usarse botas de PVC, guantes, casco de seguridad y ropa protectora.
- Observación** : Debido a la reacción con el agua, que libera CO<sub>2</sub> gas, si los envases contaminados se cierran, puede producirse un aumento peligroso de la presión. Los envases pueden reventar si se sobrecalientan.

## 6. Medidas en caso de vertido accidental

- Precauciones personales** : Contente inmediatamente con el personal de emergencia. Evacuar el área. Mantenerse en dirección contraria al viento para evitar la inhalación de vapores. La limpieza sólo debe ser efectuada por personal entrenado. El personal que atienda a derrames importantes debe usar indumentaria de protección total, incluida protección respiratoria. Use equipo protector adecuado (sección 8).
- Precauciones ambientales** : Evite la dispersión del material derramado, su contacto con el suelo, los canales, los desagües y las alcantarillas.

**Métodos para limpieza**

: Si el producto está bajo su forma sólida: Las escamas derramadas de MDI deben recogerse con precaución. Se deberá limpiar el área con un aspirador para eliminar por completo las partículas de polvo restantes.  
 Si el producto está bajo su forma líquida: \*\*\*TO BE TRANSLATED\*\*\* Dejar reaccionar durante por lo menos 30 minutos. No adsorber con serrín u otros materiales combustibles. Transferirlo a bidones abiertos para proseguir la descontaminación. Lavar el área del derrame con agua. Comprobar el contenido de la atmósfera en vapor de MDI. Neutralizar pequeños derrames con descontaminante. Retirar y eliminar los residuos. La composición de los líquidos descontaminantes se indica en la Sección 16. Ver también el folleto PU193-1 (Sección 16).

**7. Manipulación y almacenamiento**

**Manipulación**

: No respirar el vapor/aerosol. Evítese el contacto con los ojos y la piel. La concentración en la atmósfera debe minimizarse y mantenerse tan baja como sea razonablemente factible, por debajo del límite de exposición ocupacional. La eficiencia de la ventilación debe controlarse regularmente, a causa de la posibilidad de bloqueo. Cuando el producto se pulveriza o se calienta, se requiere un equipo de protección respiratoria adecuado con suministro de aire positivo. Mantener el equipo limpio.  
 Una condición esencial tanto en el muestreo, como en la manipulación o el almacenaje, es evitar el contacto con el agua. Tener a mano stocks de descontaminante. La composición de los líquidos descontaminantes se indica en la Sección 16. Ver también el folleto PU193-1 (Sección 16).

**Almacenamiento**

: Manténgase el recipiente bien cerrado. Mantener el contenedor en un área fresca y bien ventilada. Consérvese apartado de la humedad. Si un envase está contaminado, no dejarlo cerrado. Debido a la reacción con el agua, que libera CO2 gas, si los envases contaminados se cierran, puede producirse un aumento peligroso de la presión.  
 Tiempo de vida en almacenamiento Ver Hoja de Datos del Producto  
 Storage Temperature: Ver Hoja de Datos del Producto

**Materiales de embalaje**

**Recomendado**

: Recipientes adecuados: Acero. Acero Inoxidable.  
 Recipientes no adecuados: Cobre, aleación de cobre y superficies galvanizadas

**8. Controles de la exposición/protección personal**

<u>Nombre del ingrediente</u>	<u>Límites de exposición laboral</u>
España Difenilmetano 4,4' diisocianato	<b>INSHT (España, 10/2004).</b> VLA-ED: 0.052 mg/m <sup>3</sup> 8 hora/horas. Forma: Toda forma VLA-ED: 0.005 ppm 8 hora/horas. Forma: Toda forma

**Procedimientos recomendados de control**

: Se recomienda la supervisión médica de todos los empleados que manipulan o están en contacto con sensibilizantes respiratorios. El personal que tiene un historial de condiciones del tipo de asma, bronquitis o sensibilización de la piel no debería trabajar con productos basados en MDI. Los Límites de Exposición Ocupacional mencionados no son aplicables a individuos previamente sensibilizados. A dichos individuos se les debe proteger de nuevas exposiciones.

**Controles de la exposición**

**Controles de la exposición profesional**

: Asegurar una ventilación exhaustiva u otros controles de ingeniería que mantengan las concentraciones de vapores en el aire por debajo del límite de exposición laboral correspondiente. El MDI sólo se puede detectar por el olfato cuando su límite de exposición ocupacional ha sido ampliamente rebasado.

**Control de la exposición medioambiental**

: Emisiones de los equipos de ventilación o de procesos de trabajo deben ser evaluados para verificar que cumplen con los requisitos de la legislación de protección del medio ambiente. En algunos casos será necesario el uso de eliminadores de humo, filtros o modificaciones del diseño del equipo del proceso para reducir las emisiones a un nivel aceptable.

**Protección respiratoria**

: Use un respirador purificador de aire o con suministro de aire, que esté ajustado apropiadamente y que cumpla con las normas aprobadas si una evaluación del riesgo indica es necesario. La selección del respirador se debe basar en el conocimiento previo de los niveles, los riesgos de producto y los límites de trabajo de seguridad del respirador seleccionado.

**Protección de las manos**

: Use guantes resistentes a las sustancias químicas clasificados bajo la Norma EN374: guantes protectores contra sustancias químicas y microorganismos. Entre los tipos de materiales para guantes que podrían ofrecer una protección adecuada están: caucho de butilo, polietileno clorado, polietileno, laminados con copolímeros de alcohol etilénico/vinílico ("EVAL"), policloropreno (Neopreno), caucho de nitrilo/butadieno ("NBR" o "nitrilo"), cloruro de polivinilo ("PVC" o "vinilo"), fluoroelastómero (Viton).

Si existe la posibilidad de que el contacto sea prolongado o frecuente, se recomienda un guante con una clase de protección 5 o mayor (tiempo de ruptura mayor de 240 minutos según la norma EN374).

Si se espera que el contacto sea breve, se recomienda un guante con una clase de protección 3 o mayor (tiempo de ruptura mayor de 60 minutos según la norma EN374).

Los guantes contaminados deberán descontaminarse y desecharse.

Aviso: Para hacer la selección de un guante específico para un uso, y duración de empleo en un lugar de trabajo dados deberán también considerarse todos los factores requeridos en el lugar de trabajo como por ejemplo, aunque no exclusivamente, otras sustancias químicas que pudiesen manejarse, requisitos físicos (protección contra cortes/punción, dexteridad, protección térmica); así como, las instrucciones/ especificaciones dadas por el proveedor de los guantes.

Debe usarse guantes cuando se manipulan productos recién hechos con poliuretanos para evitar el contacto con trazas residuales de dicho material que pueden ser peligrosas en contacto con la piel.

**Protección de los ojos**

: Se debe usar equipo protector ocular que cumpla con las normas aprobadas cuando una evaluación del riesgo indique que es necesario evitar toda exposición a salpicaduras del líquido, lloviznas o polvos.

**Protección cutánea**

: Antes de utilizar este producto se debe seleccionar equipo protector personal para el cuerpo basado en la tarea a ejecutar y los riesgos involucrados y debe ser aprobado por un especialista.

Cuerpo: Recomendado: Mono (preferentemente de algodón grueso) o Tyvek-Pro Tech 'C', Tyvek-Pro Tech 'F' mono desechable.

Lave las manos, antebrazos y cara completamente después de manejar productos químicos, antes de comer, fumar y usar el lavabo y al final del período de trabajo. Usar las técnicas apropiadas para remover ropa contaminada. Lavar las ropas contaminadas antes de volver a usarlas. Verifique que las estaciones de lavado de ojos y duchas de seguridad se encuentren cerca de las estaciones de trabajo.

**9. Propiedades físicas y químicas**

Información general

Apariencia

- Estado físico : Líquido.
- Color : No disponible.
- Olor : ligeramente a moho
- Umbral del olor : No disponible.

Información importante en relación con la seguridad, higiene y medio ambiente

- Punto de ebullición : >300 °C se descompone
- Punto de fusión : No disponible.
- Temperatura de inflamabilidad : Vaso cerrado: 222°C (431.6°F). Crisol abierto: 222°C (431.6°F).
- Inflamabilidad (sólido, gas) : No aplicable.
- Propiedades explosivas : No explosivo

1047

- Propiedades oxidantes** : No disponible.
- Concentración de vapor saturado** : > 32 µg/m³ @ 20 Deg C
- Presión de vapor** : No disponible.
- Solubilidad** : insoluble en agua.
- Coefficiente de partición octanol/agua** : No aplicable. Reacciona con el agua y con octanol.
- Viscosidad** : 1.80-3.70 poise(at 25C)
- Densidad de vapor** : 8.5
- Grado de evaporación (acetato de butilo = 1)** : No disponible.

**Otra información**

Temperatura de autoignición : >600 grados C

**10. Estabilidad y reactividad**

- Estabilidad** : Estable a temperatura ambiente La reacción con agua (humedad) produce anhídrido carbónico gas. Reacción exotérmica con materiales conteniendo grupos de hidrógeno activos. La reacción es progresivamente más vigorosa y puede ser violenta a altas temperaturas si la miscibilidad de los componentes de la reacción es buena o está potenciada por una agitación o por la presencia de disolventes. El MDI es insoluble en el agua y más pesado que ella y se deposita en el fondo, si bien en la interfase reacciona lentamente. En la interfase se forma una capa sólida insoluble en agua de poliurea, liberándose dióxido de carbono gas.
- Condiciones que deben evitarse** : Evitar las altas temperaturas.
- Materias que deben evitarse** : agua, alcoholes, aminas, bases, y ácidos
- Productos de descomposición peligrosos** : Los productos de combustión pueden incluir: óxidos de carbono (CO, CO<sub>2</sub>) óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub> etc) hidrocarburos y HCN

**11. Información toxicológica**

**Efectos agudos potenciales para la salud**

- Inhalación** : Este producto es un irritante respiratorio y un sensibilizador respiratorio potencial: la inhalación repetida de vapor o aerosol a concentraciones superiores al límite de exposición ocupacional podría causar sensibilización respiratoria. Los síntomas pueden consistir en irritación en los ojos, nariz, garganta y pulmones, posiblemente combinada con sequedad en la garganta, opresión en el pecho y dificultad en la respiración. La aparición de los síntomas respiratorios puede retrasarse varias horas después de la exposición. En personas sensibilizadas se puede desarrollar una respuesta hiperreactiva incluso a concentraciones mínimas de MDI.
- Ingestión** : Baja toxicidad oral. La ingestión puede producir la irritación de las vías gastrointestinales.
- Contacto con la piel** : Irrita la piel. Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel. Estudios en animales han demostrado que se puede provocar una sensibilización respiratoria por contacto de la piel con sensibilizantes respiratorios conocidos, incluidos los diisocianatos. \* Estos resultados acentúan la necesidad de utilizar en todo momento indumentaria protectora, incluyendo guantes, cuando se manejen estos productos químicos o cuando se efectúen trabajos de mantenimiento.
- Contacto con los ojos** : Irrita los ojos.

**Toxicidad aguda**

<u>Nombre del producto o ingrediente</u>	<u>Prueba</u>	<u>Resultado</u>	<u>Ruta</u>	<u>Especies</u>
Difenilmetano 4,4' diisocianato	DL50	>5000 mg/kg	Oral	Rata
	DL50	>5000 mg/kg	Dérmica	Conejo
	CL50	0.49 mg/l (4 hora/horas)	Inhalación	Rata

**Efectos crónicos potenciales para la salud**

Carcinogénesis :

Unas ratas fueron expuestas durante dos años a una niebla respirable de MDI polimérico, que a altas concentraciones produjo una irritación pulmonar crónica. Únicamente a la concentración superior (6 mg/m<sup>3</sup>), se observó una incidencia significativa de un tumor benigno en el pulmón (adenoma) y de un tumor maligno (adenocarcinoma). A 1 mg/m<sup>3</sup> no se apreciaron tumores en los pulmones y a 0,2 mg/m<sup>3</sup>, no se detectó efecto alguno. En conjunto la incidencia de tumores, tanto benignos, como malignos, no fue diferente que en los controles. La superior incidencia de tumores en los pulmones se atribuye a una irritación respiratoria prolongada y a la correspondiente acumulación de un material amarillo en el pulmón, que se presentó a lo largo de todo el estudio. Si no se produce una exposición prolongada a altas concentraciones, que den lugar a una irritación crónica del pulmón y al dañado del mismo, es altamente improbable que tenga lugar la formación de tumores.

**Mutagénesis**

: No existe ninguna evidencia sustancial de potencial mutagénico.

**Toxicidad para la reproducción**

: En dos estudios independientes en animales (ratas) no se apreciaron defectos de nacimiento. La toxicidad en el feto sólo se apreció a unas dosis extremadamente tóxicas (incluso letales) para la madre. No se apreció toxicidad en el feto a dosis que no eran tóxicas para la madre. Las dosis utilizadas en estos estudios fueron concentraciones respirables máximas, notablemente superiores al límite de exposición ocupacional.

**Otros efectos nocivos**

: No disponible.

## 12. Información ecológica

**Datos sobre ecotoxicidad**

<u>Nombre del ingrediente</u>	<u>Especies</u>	<u>Período</u>	<u>Resultado</u>
Difenilmetano 4,4' diisocianato	pez cebra (CL50)	96 hora/horas	>1000 mg/l
	Daphnia magna (EC50)	48 hora/horas	>1000 mg/l

**Movilidad**

: Tomando en consideración la fabricación y la utilización de la sustancia, es improbable que se produzca una exposición medioambiental significativa en el aire o en el agua. Inmiscible con el agua, pero reacciona con la misma para dar lugar a sólidos químicamente inertes y no biodegradables. La conversión a productos solubles incluido el diaminodifenilmetano (MDA) es muy baja en las condiciones óptimas de laboratorio de buena dispersión y baja concentración. Tanto por cálculo, como por analogía con otros diisocianatos similares, en el aire es previsible que el principal proceso de degradación se deba a un ataque relativamente rápido por los radicales OH.

**Otros efectos nocivos**

: Se pueden anticipar los siguientes valores, por comparación con un producto análogo. La ecotoxicidad medida corresponde a la del producto hidrolizado, generalmente en unas condiciones que potencian la producción de compuestos solubles. Aun así, la ecotoxicidad apreciada puede calificarse entre baja y muy baja. Un estudio llevado a cabo en un estanque reveló que una gran contaminación no producía efectos tóxicos significativos sobre una amplia variedad de flora a todos los niveles de la cadena trófica (incluyendo los peces), ni una presencia detectable de diaminodifenilmetano (MDA) y tampoco se apreció una bioacumulación de MDI o MDA.

## 13. Consideraciones relativas a la eliminación

**Métodos de eliminación**

: Se debe evitar o minimizar la generación de desechos cuando sea posible. Evite la dispersión del material derramado, su contacto con el suelo, los canales, los desagües y las alcantarillas. La eliminación de este producto, sus soluciones y cualquier derivado deben cumplir siempre con los requisitos de la legislación de protección del ambiente y disposición de desechos y todos los requisitos de las autoridades locales.

**Catálogo europeo de residuos (EWC)**

: Las directivas aplicables de la UE y las regulaciones nacionales, regionales y locales deben ajustarse a dicho catálogo. El poseedor del residuo debe asignarle un código de residuo específico según el sector industrial y tratarlo según el Catálogo Europeo de Residuos. Se recomienda que la clasificación se realice con el responsable de la eliminación del residuo.

**Residuos Peligrosos**

: La clasificación del producto puede cumplir los requisitos de residuo peligroso.

## Información relativa al transporte

### Reglamento internacional de transporte

#### Denominación para el transporte

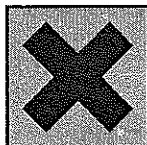
ADR : No regulado.  
 IMDG : No regulado.  
 IATA : No regulado.

Información reglamentaria	Número ONU	Grupo de embalaje	Etiqueta	Información adicional
Clasificación ADR/RID	No regulado.	-		
Clasificación IMO/IMDG	No regulado.	-		
Clasificación ICAO/IATA	No regulado.	-		

## 15. Información reglamentaria

### Reglamento de la UE

Símbolo/símbolos de peligro/peligros :



Xn Nocivo

Frases de riesgo :

R20- Nocivo por inhalación.  
 R36/37/38- Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.  
 R42/43- Posibilidad de sensibilización por inhalación y en contacto con la piel.

Frases de seguridad :

S23- No respirar los vapores aerosoles.  
 S36/37- Úsense indumentaria y guantes de protección adecuados.  
 S38- En caso de ventilación insuficiente, úsese equipo respiratorio adecuado.  
 S45- En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrole la etiqueta).

Contiene :

4,4'-diisocianato de difenilmetano

Uso del producto :

La clasificación y el etiquetado se han realizado de acuerdo con las normativas 67/548/EEC y 1999/45/EC de la UE, incluidas las enmiendas correspondientes y la información relativa al uso previsto.  
 - Aplicaciones industriales.

### Otras regulaciones de la UE

Frases de advertencia adicionales :

Contiene isocianatos. Véase la información facilitada por el fabricante. La información se proporciona en esta Ficha de datos de seguridad.

## 16. Otra información

Texto íntegro de las frases R que aparecen en las secciones 2 y 3 - España :

R20- Nocivo por inhalación.  
 R36/37/38- Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.  
 R42/43- Posibilidad de sensibilización por inhalación y en contacto con la piel.

Texto íntegro de las clasificaciones a las que se hace referencia en las secciones 2 y 3 - España :

Xn - Nocivo  
 Xi - Irritante

### Historial

Fecha de impresión : 20 Feb 2006

Fecha de emisión : 20 Febrero 2006

Fecha de emisión : 20 Febrero 2006

Fecha de la emisión : 10 Feb 2006  
 Versión : 2

**Aviso al lector**

**La información y las recomendaciones que figuran en esta publicación se basan en nuestra experiencia general y se facilitan de buena fe y según nuestro saber actual y entender en la actualidad. No obstante, NINGUNA PARTE DE ESTE DOCUMENTO DEBE INTERPRETARSE COMO GARANTÍA O COMPROMISO CONTRACTUAL, YA SEA EXPLÍCITO, IMPLÍCITO O DE CUALQUIER OTRA MANERA.**

**EN TODOS LOS CASOS, CORRESPONDE AL USUARIO LA RESPONSABILIDAD DE DETERMINAR Y COMPROBAR SI LA INFORMACIÓN Y LAS RECOMENDACIONES CONTENIDAS EN ESTE DOCUMENTO SON EXACTAS, SUFICIENTES Y APLICABLES A CADA CASO EN PARTICULAR, Y SI UN PRODUCTO DETERMINADO ES APROPIADO Y CONVENIENTE PARA UN USO O FINALIDAD DETERMINADO.**

**LOS PRODUCTOS MENCIONADOS PUEDEN PRESENTAR RIESGOS DESCONOCIDOS Y DEBEN UTILIZARSE CON PRECAUCIÓN. AUNQUE EN ESTE DOCUMENTO SE DESCRIBEN CIERTOS RIESGOS, NO SE GARANTIZA EN MODO ALGUNO QUE ESTOS SEAN LOS ÚNICOS RIESGOS EXISTENTES.**

*Los riesgos, la toxicidad y el comportamiento de los productos pueden variar cuando se usan junto con otros materiales, y dependen de las circunstancias de fabricación u otros procesos. Corresponde al usuario determinar estos riesgos, toxicidad y comportamiento, y ponerlos en conocimiento de quienes vayan a manipularlos o procesarlos, así como de los usuarios finales.*

Descontaminantes líquidos (porcentajes en peso o en volumen):

Descontaminante 1: \* carbonato sódico: 5 - 10 % \* detergente líquido: 0,2 - 2 % \* agua: hasta completar a 100 %

Descontaminante 2: \* solución concentrada de amoníaco: 3 - 8 % \* detergente líquido: 0,2 - 2 % \* agua: hasta completar a 100%

El descontaminante 1 reacciona más lentamente con los diisocianatos, pero es más respetuoso con el medio ambiente que el descontaminante 2.

El Descontaminante 2 contiene amoníaco. El amoníaco presenta algunos riesgos para la salud. (Ver información de seguridad del suministrador).

Referencia de Literatura: PU 193-1 : ' Composiciones basadas en MDI : Riesgos y Procedimientos Seguros de Manipulación'.

PU 181-15 : Procedimientos de Fusión recomendados para isocianatos basados en MDI.

ISOPA Directrices para la carga/descarga, transporte y almacenamiento de TDI y MDI de forma segura, Ref. 12-96-PSC-0014-GUIDL-Sp.

SPI PMDI User Guidelines for the Chemical Protective Clothing Selection.

La referencia de los métodos usados en la sección de las propiedades físico-químicas figura en el Anejo V, parte A de la Directiva de la Comisión 92/69/CEE de 31 de Julio de 1992, que adapta al progreso técnico por decimoséptima vez la Directiva del Consejo 67/548/CEE.

SUPRASEC® es una marca registrada de Huntsman LLC o de sus afiliadas en uno o mas países, pero no en todos los países.

Copyright © 2005 Huntsman LLC o de sus afiliadas. Derechos reservados.

Enquiries should be addressed to your nearest Huntsman sales office or to:

Huntsman Belgium (BVBA)  
 Everslaan 45  
 B-3078 Everberg  
 Belgium  
 Tel.:+32-(0)2-758-9211

# Anexo III

Ficha técnica de Fibrapan

Ficha técnica de Fibrapan, produto feito de fibras de madeira mas com densidades de 730 a 750 kg/m<sup>3</sup> nas espessuras estudadas

FIBRAPAN ®							
DADOS TÉCNICOS-VALORES MÉDIOS							
TESTE DE REFERÊNCIA	PROPRIEDADES	UIIDADES	ESPESSURAS mm				
			7/9	>9/12	>12/19	>19/30	
EN 323	DENSIDADE (°)	Kg/m <sup>3</sup>	790/750	750/730	740/710	710/675	
EN 319	TRACÇÃO INTERNA	N/mm <sup>2</sup>	0,85	0,85	0,80	0,80	
EN 310	RESISTÊNCIA À FLEXÃO	N/mm <sup>2</sup>	30	30	30	25	
EN 310	MÓDULO DE ELASTICIDADE	N/mm <sup>2</sup>	2700	2500	2500	2100	
EN 317	INCHAMENTO EM ÁGUA 24H	%	17	15	12	10	
EN 318	ESTABILIDADE DIMENSIONAL COMPRIMENTO/LARGURA	%	0,4	0,4	0,4	0,3	
EN 318	ESTABILIDADE DIMENSIONAL ESPESSURA	%	6	6	6	5	
EN 311	TRACÇÃO SUPERFICIAL	N/mm <sup>2</sup>	1,2	1,2	1,2	1,2	
EN 382-1	ABSORÇÃO SUPERFICIAL (AMBAS FACES)	mm	> 150	> 150	> 150	> 150	
EN 322	HUMIDADE	%	7±3	7±3	7±3	7±3	
ISO 3340	CONTEÚDO EM SÍLICA	% Peso	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	
EN-320	RESISTÊNCIA AO ARRANQUE DE PARAFUSO. CANTOS	N	-	-	800	750	
EN-320	RESISTÊNCIA AO ARRANQUE DE PARAFUSO. FACES	N	-	-	1000	1000	

TOLERÂNCIA EM DIMENSÕES NOMINAIS							
TESTE DE REFERÊNCIA	PROPRIEDADES	UIIDADES	ESPESSURAS mm				
			7/9	>9/12	>12/19	>19/30	
EN 324-1	ESPESSURA	mm	+/-0,2	+/-0,2	+/-0,2	+/-0,3	
EN-324-1	COMPRIMENTO E LARGURA	mm	+/- 2 mm/m, máx +/- 5 mm.	+/- 2 mm/m, máx +/- 5 mm.	+/- 2 mm/m, máx +/- 5 mm.	+/- 2 mm/m, máx +/- 5 mm.	
	ESQUADRIA	mm/m	+/- 2	+/- 2	+/- 2	+/- 2	
	PRECISÃO DE TOPOS	mm/m	+/-1,5	+/-1,5	+/-1,5	+/-1,5	